

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi, anàlisi i disseny d'un sistema de captació d'energia solar a la façana Oest de l'edifici ETSEIB

MEMÒRIA

Autor: David Martínez Marco
Director: Oriol Gomis Bellmunt
Convocatòria: Maig 2020



Resum

El següent projecte de fi de grau tracta sobre l'estudi, anàlisi i disseny d'un sistema de captació d'energia solar en la façana Oest de l'edifici de l'ETSEIB. En la primera part del treball es presenta l'energia solar com a tal i la seva evolució al llarg dels anys a escala global i nacional. El dispositiu per excel·lència emprat per a la captació d'energia solar és el panell solar. Es veurà el seu funcionament i, els diferents dispositius que trobem al mercat.

Una segona part del projecte es basa a definir la zona d'aplicació, el recurs energètic utilitzat per obtenir l'energia elèctrica i, caracteritzar els diferents components que formen part de la instal·lació. Un cop clars aquests aspectes, es presenta el dimensionat de sis alternatives d'instal·lació fotovoltaica en funció dels panells i, la distribució en la façana.

Per últim es realitza l'anàlisi econòmic de les diferents alternatives, per veure quina d'elles és més econòmicament viable i, generi major benefici en el menor temps possible.

Sumari

1. Glossari	6
1.1. Acrònims	6
1.2. Unitats	6
2. Prefaci	7
2.1. Origen del projecte	7
2.2. Motivació	7
3. Introducció	8
4. Energia Solar	9
4.1. Context i situació actual a nivell global	9
4.2. Àmbit nacional. Espanya.	13
4.3. Món de les fotovoltaiques	17
4.3.1 Efecte fotovoltaic	17
4.3.2. Instal·lacions fotovoltaiques	18
4.3.3. El panell fotovoltaic	19
4.3.3.1 Funcionament cèl·lula fotovoltaica	22
4.3.3.2 Connexionat entre mòduls	24
5. Lloc d'aplicació	27
5.1. Edifici ETSEIB	27
5.2. Façana Oest	28
6. Recurs energètic	32
7. Components de la instal·lació fotovoltaica	43
7.1. Plaques fotovoltaiques:	44
7.2. Inversor	46
7.3. Regulador de càrrega	49
7.4. Bateries o acumuladors d'energia	50
7.5. Cablejat	51
7.6. Estructura de suport	51
7.7. Proteccions	52
7.7.1 Proteccions zona de continua	53
7.7.2. Proteccions zona d'alterna	55
7.8. Posada a terra	56
8. Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica	59
8.1 Panells	59
8.1.1. Finestra	59
8.1.2. Superfície opaca	61

8.2. Distribució dels panells en la superfície opaca	65
8.3. Estudi de les alternatives	67
8.3.1 Alternativa A-1	68
8.3.2 Alternativa A-2	73
8.3.3. Alternativa B-1	76
8.3.4. Alternativa B-2	80
8.3.5. Alternativa C-1	84
8.3.6. Alternativa C-2	87
8.4 Resum alternatives	90
9. Anàlisi de la producció energètica	93
10. Manteniment del sistema	98
11. Anàlisi econòmic	99
12. Esquema elèctric de la millor alternativa	104
13. Estudi de l'impacte ambiental	110
Conclusions	112
Agraïments	113
Bibliografia	114

1. Glossari

1.1. Acrònims

IRENA: International Renewable Energy Agency

PV / FV: Panell fotovoltaic

CSP: Energia solar concentrada

IDAE: Institut per a la diversificació i estalvi d'energia

PWM: Modulació per ample de pols. Tipus de regulador de carga

MPPT: Seguidor del punt de màxima potència. Tipus de regulador de carga

UNE: Una Norma Española. Asociación Española de Normalización

ISO: International Organization for Standardization

CEM: Condiciones Estandar de Mesura

OI: Orientació i Inclinació

AM: Distribució espectral

1.2. Unitats

USD/kWh: Cost del kWh en Dòlars d'Estats Units

kWh: kiloWatt hora. Unitat de mesura d'energia elèctrica

W/m²: watt per metre quadrat unitat de mesura de la irradiància.

€/kWh: Cost del kWh en Euros

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Avui dia en les principals ciutats del món trobem edificis de gran alçada, als quals els hi incideix una quantitat enorme de radiació solar. Si se'ls hi pot donar una segona vida a les parets dels edificis amb grafitis, perquè no instal·lar-hi panells fotovoltaics, mantenint un equilibri entre l'estètica i la funcionalitat, així doncs produir electricitat conservant l'estructura de l'edifici. L'interès d'aprofitar al màxim l'energia solar i, la possibilitat de donar-li una segona funció a la façana de l'edifici de la nostra escola, sorgeix la idea d'implementar un sistema de captació d'energia solar integrada en la façana.

2.2. Motivació

Cada dia, cada hora, cada minut, cada segon rebem milers i milions de recursos energètics que no estem aprofitant. Si fóssim capaços de treure profit a un 1% de tot el que rebem, gran part de la necessitat energètica que hi ha actualment en el planeta, quedaria satisfeta. Sempre m'he preguntat com podem treure profit a l'energia neta que ens envolta, per tal de beneficiar-nos tant a particulars com a la societat en general.

Es podria carregar el mòbil mentre anem de passeig? Es podria carregar el mòbil mentre circulem amb bicicleta? Es podria reduir la factura de la llum al 100% de tots els habitatges de la ciutat? Podríem no haver de pagar mai més una factura de la llum? Són moltes de les preguntes que en un futur no molt llunyà podrem respondre afirmativament. Cada cop més s'ha d'apostar per les energies renovables, aquelles netes i que no produeixen emissions ni contaminants, agreujant així el medi ambient. Hi ha molta energia al nostre abast per transformar per mitjà de les energies renovables, les quals cal explotar per combatre el canvi climàtic i aportar el nostre granet al bé del medi ambient.

3. Introducció

El treball es divideix en dues parts, un primer estudi de la capacitat útil de la façana Oest de l'ETSEIB per a captar energia solar i, un segon per triar quin sistema s'adapta millor a les diferents superfícies de la façana de l'edifici. En aquest darrer, es pretén analitzar per separat les dues superfícies que trobem a la façana, el vidre transparent de les finestres i la superfície opaca de la paret. La tria del millor sistema serà sota els següents supòsits: major eficiència i menor cost.

L'objectiu principal del treball és l'aprenentatge en el món de l'energia solar i les fotovoltaiques i, l'estudi dels diferents sistemes que es poden aplicar en diferents superfícies i condicions tant logístiques com ambientals o econòmiques.

4. Energia Solar

4.1. Context i situació actual a nivell global

L'energia es pot aprofitar directament del sol, fins i tot en temps ennuvolat. L'energia solar s'utilitza a tot el món i és cada vegada més popular per a generar electricitat o calefacció i dessalinitzar aigua. Les principals característiques de l'energia solar són que és neta i renovable, ja que prové d'una font natural com és el Sol i no produeix contaminants que malmetin el medi ambient, com podrien ser les emissions de CO₂ a l'atmosfera. L'energia utilitzada pels habitants del planeta Terra durant 1 any és equivalent a l'energia que el Sol irradia el planeta en unes poques hores. Per tant queda molt per explorar i investigar, per tal de treure el màxim rendiment a aquest recurs tan abundant, que podem considerar com a il·limitat. El conjunts d'aquestes propietats fan que aquesta energia es posicioni com el futur de les energies per davant de qualsevol renovable i, per suposat de les no renovables com les derivades fòssils, el gas natural o la nuclear.

Segons l'*International Renewable Energy Agency (IRENA)*[4] l'energia solar es genera de dues maneres principalment: per mitjà de dispositius fotovoltaics (PV) o per plantes de generació d'energia solar concentrada (CSP). El recurs que ens interessa pel nostre treball és la primera, a través de mòduls fotovoltaics. A continuació mostrarem l'evolució temporal que està patint aquest recurs i la situació actual a nivell global i en concret a Espanya.

El mòduls o panells fotovoltaics (PV), també nomenats cèl·lules solars, són dispositius electrònics que converteixen la llum solar directament en electricitat. La cèl·lula solar moderna és probablement una imatge que la majoria de la gent reconeixeria, ja que estan en els panells instal·lats a les cases i en les calculadores. En l'actualitat, l'energia fotovoltaica és una de les tecnologies d'energia renovable de més ràpid creixement i està disposada a exercir un paper important en la futura combinació de generació d'electricitat a nivell mundial.

A finals del 2018 la capacitat global de generació de les renovables va ser de 2.351 GW, dels quals 486 GW corresponen a l'energia solar, representant el 20% sobre el total. En la

figura 1 podem observar els percentatges de les diferents renovables.

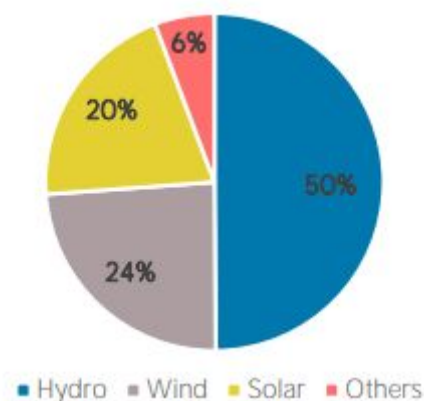


Figura 1: Capacitat generada per les energies renovables.

La capacitat global va augmentant amb el pas dels anys, sent quasi del 8% el darrer any. L'energia solar domina davant les altres renovables, aconseguint 100 GW més de capacitat el passat 2018.

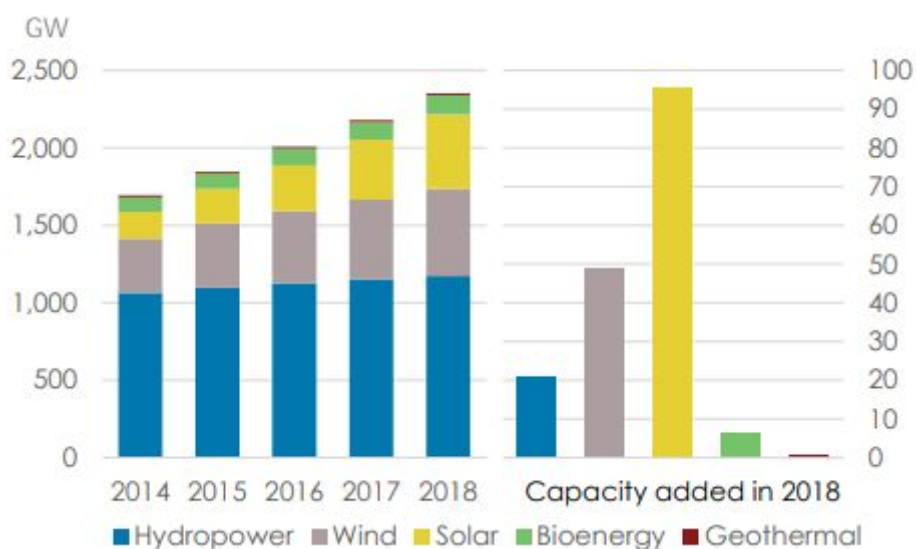


Figura 2: Creixement de la capacitat global de les renovables.

A nivell mundial l'energia solar fotovoltaica poc a poc va agafant més força davant les altres energies productores d'electricitat. Com podem observar en la figura 3, la generació d'electricitat provinent de l'energia solar representarà gairebé el 16% de la generació

elèctrica total.

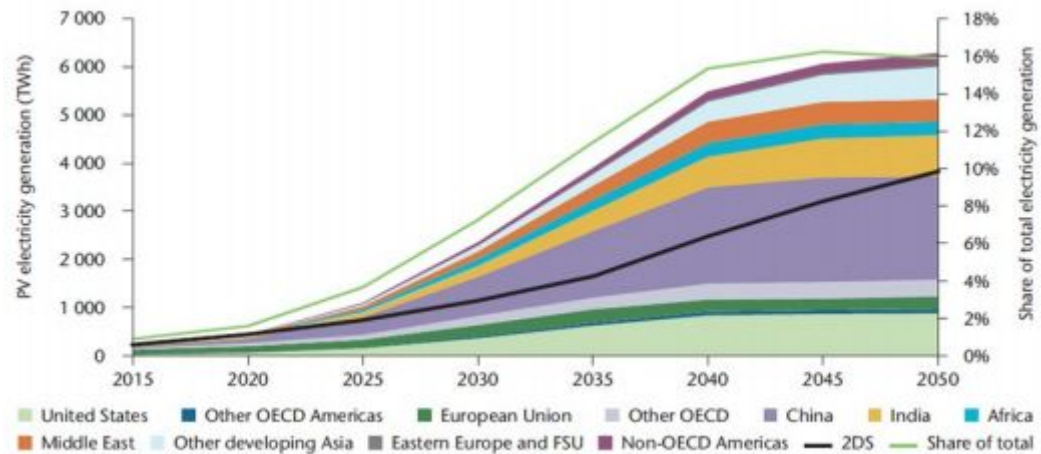


Figura 3: Previsió mundial de generació d'electricitat a partir d'energia solar fotovoltaica i el percentatge sobre el total de generació elèctrica.

Les instal·lacions fotovoltaiques solars poden combinar-se per a subministrar electricitat a escala comercial, o poden disposar-se en configuracions més petites per a mini xarxes o per a ús personal. L'ús d'energia solar fotovoltaica per a alimentar mini xarxes és una excel·lent manera de proporcionar accés a l'electricitat a persones que no viuen prop de les línies de transmissió d'energia, en particular als països en desenvolupament amb excel·lents recursos d'energia solar.



Figura 4: Instal·lació fotovoltaica sobre la coberta d'una nau industrial.

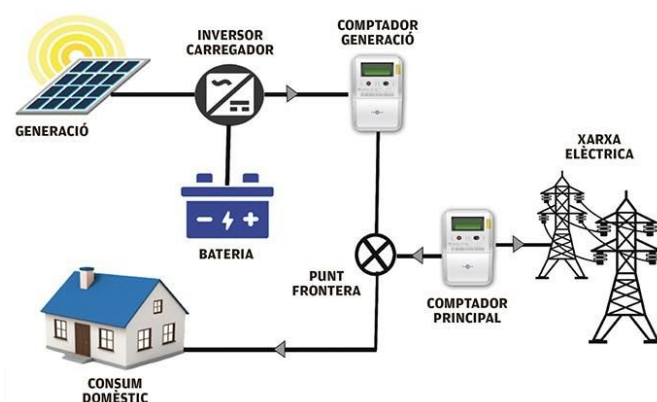


Figura 5: Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum o connexió a la xarxa elèctrica.

El cost de la fabricació de panells solars s'ha desplomtat dramàticament en l'última dècada, fent-los no sols assequibles, sinó sovint sent la forma més barata d'electricitat. La reducció que ha patit el cost del kWh ha estat del 77% passant de 0,370 0218 USD/kWh en el 2010 als 0,085 2018 USD/kWh del 2018. Les unitats utilitzades són USD/kWh, ja que així és com treballa l'IRENA, si convertim els valors anteriors amb les unitats en €/kWh, tenint en compte que actualment 1€ equival a 0,9 USD, obtenim que el cost dels panells al 2010 va ser de 0,333 €/kWh i de 0,076 €/kWh al 2018.

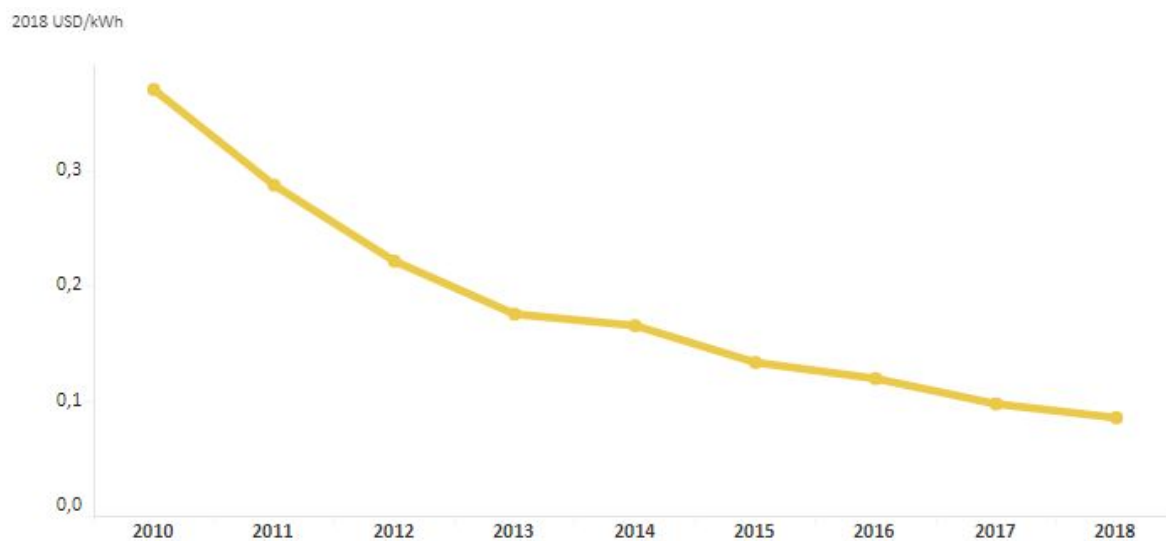


Figura 6: Evolució temporal del cost del kWh de les instal·lacions fotovoltaïques.

Els panells solars tenen una vida útil d'aproximadament 30 anys, i vénen en varietat de tons depenent de la mena de material utilitzat en la fabricació. Conseqüentment el cost dels mòduls fotovoltaics continua disminuint, no al ritme en que ho va fer a principis de la dècada, però sí amb pendent descendent.

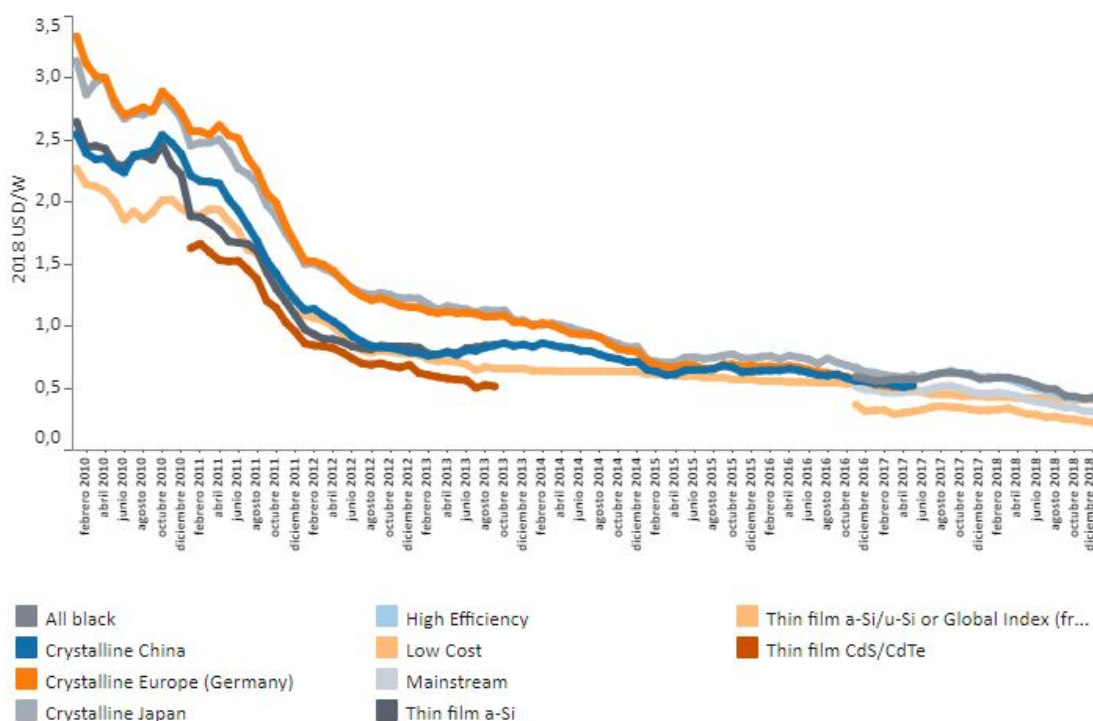


Figura 7: Evolució del cost dels mòduls fotovoltaics del 2010 al 2018.

4.2. Àmbit nacional. Espanya.

Espanya pot presumir de ser un dels països amb més hores de Sol, fet que la posiciona com a potència mundial en l'àmbit de l'energia solar. Fins al 2008 presentava una de les flotes més grans de potència elèctrica instal·lada, sent de 3.392 MW però amb la implemenatció del Real Decret 900/2015, afectant l'autoconsum i les instal·lacions de plaques fotovoltaïques i, la posterior entrada en crisi es van veure estancades. Continuant amb el creixement econòmic dels últims anys, nous Reals Decrets i una normativa que recolza el món de les renovables cada cop més s'està apostant per aquestes energies.

Com es recull en el llibre elaborat pel Ministeri per la transició ecològica, *La energía en España 2017* [8], les energies renovables han presentat prop del 13% del consum d'energia primària. Pel que respecta a les energies solars l'increment és tímid, del 5,4%.

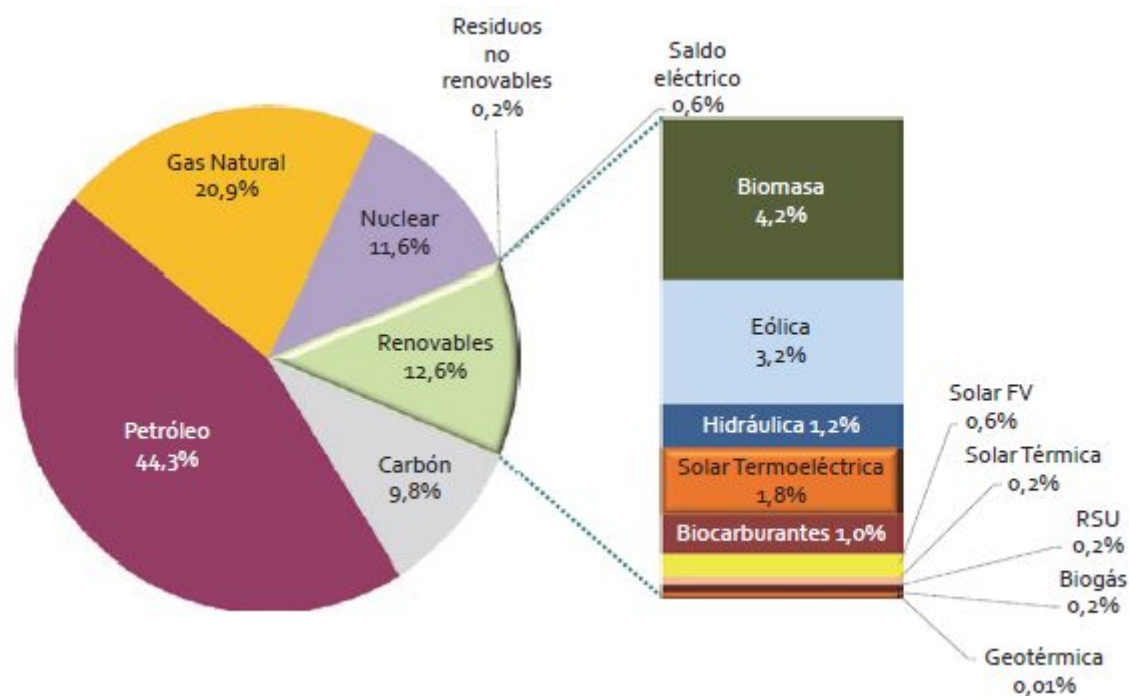


Figura 8: Consum d'energia primària el 2017. Contribució per font energètica.

Les energies renovables van aportar al sistema 87.302 GWh durant el 2017, representant vora el 32% de la generació elèctrica total. D'aquests quasi 88.000 GWh es van destinar el 65% per a la producció d'electricitat i el 27% en producció tèrmica. La contribució dels mòduls fotovoltaics va ser d'aproximadament de 8.400 GWh, 3,1% del total i, de 5,2% de l'energia solar en el seu conjunt. L'any 2018 la generació elèctrica fotovoltaica va disminuir generant 7.700 GWh, per tant la generació solar total va passar a ser de 14.000 GWh representant un 4,7% del total tal i com ho reflecteix l'informe del 2018 *Las energías renovables en el sistema eléctrico español*, elaborat per RED Eléctrica de España. [5]

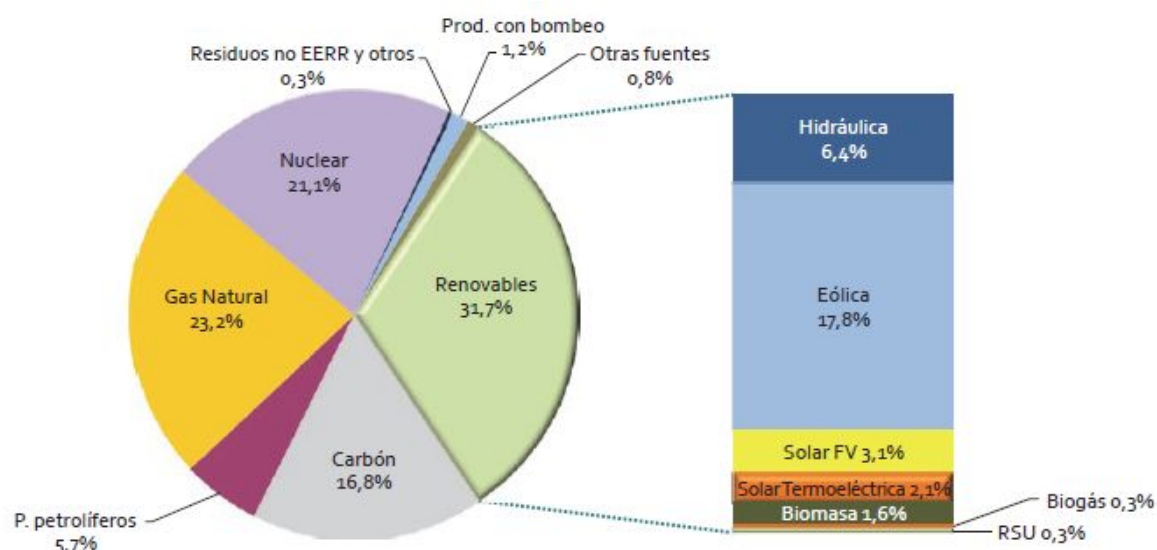


Figura 9: Estructura de la generació elèctrica d'Espanya l'any 2017.

La tendència dels últims anys de la potència instal·lada en Espanya és un increment molt lleuger. Això demostra que el sector continua lluitant davant les altres energies i que poc a poc anirà consolidant-se fins arribar al punt de ser l'energia renovable amb més potència elèctrica instal·lada. Actualment hi han 4.714 MW de potència elèctrica instal·lada, distribuïda per tot el territori nacional.

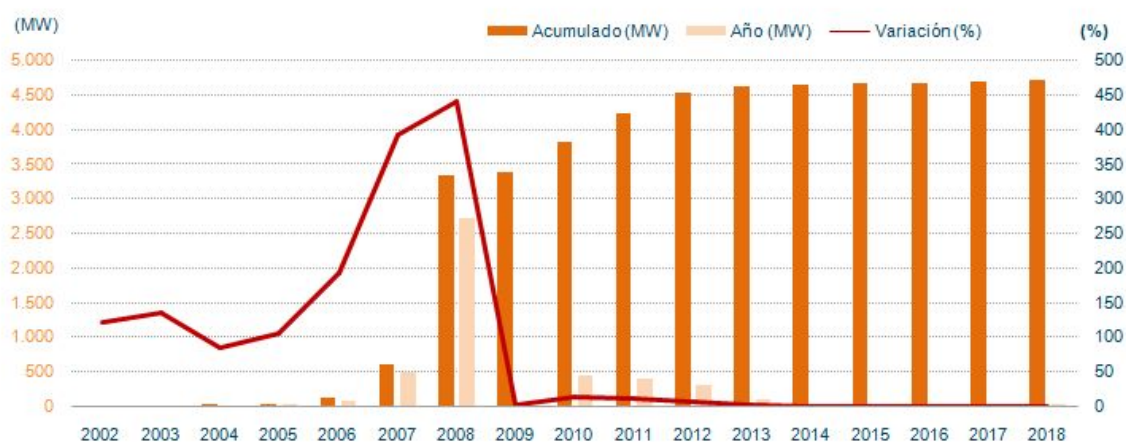


Figura 10: Potència elèctrica instal·lada a Espanya.

En la figura 10 es pot observar la distribució de la potència instal·lada en tot el territori nacional. Destacar Castella la Mantxa i Andalusía com les Comunitats Autònomes amb més potència elèctrica instal·lada amb 925 MW i 882 MW respectivament. Al nord-oest de la península trobem les CCAA amb menor potència instal·lada, degut a la seva geografia i condicions meteorològiques que no propicien la instal·lació de sistemes fotovoltaics.

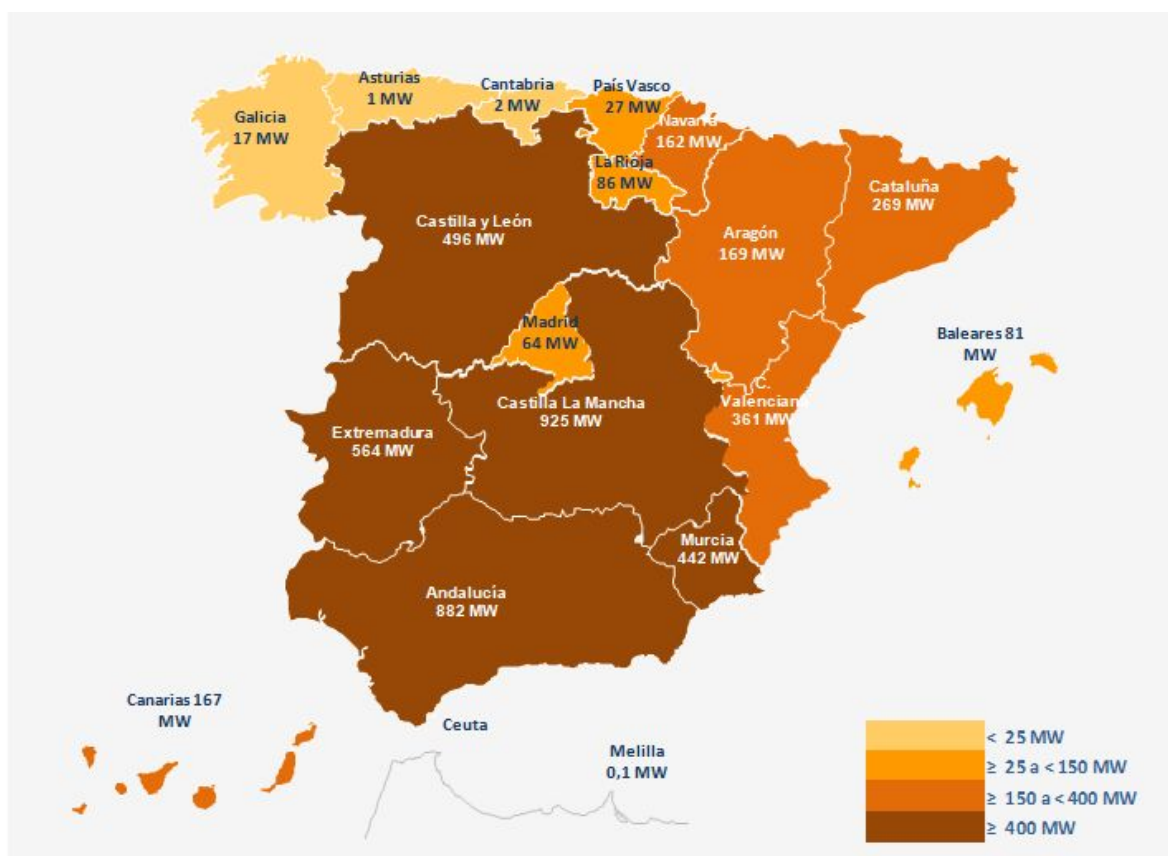


Figura 11: Potència instal·lada al territori nacional per CCAA.

A Catalunya el 2016 hi havien instal·lats 24,3 MW de potència elèctrica. A finals del 2018 ja n'hi havien 269 MW, sent així la 7ena Comunitat Autònoma amb major potència instal·lada. Està clar que cada cop més s'està optant per l'energia solar fotovoltaica, una energia neta renovable i amb gran nombre d'aplicacions ja bé siguin a gran escala com petites instal·lacions. Hi ha milers de m² de superfície que es poden explotar per treure rendiment a aquesta font d'energia tan abundant.

4.3. Món de les fotovoltaiques

4.3.1 Efecte fotovoltaic

El principi de funcionament de les cèl·lules solars és l'efecte fotovoltaic. Els rajos de fotons incidents en la superfície del panell solar provoca l'excitació dels electrons els quals voldran circular a través del panell.

En la placa fotovoltaica trobem unides dues superfícies, generalment de silici:

- **Zona p**, positiva també nomenada ànode o receptor, és la zona de defecte d'electrons. S'afegeix al silici pur una petita part de bor, el qual té 3 electrons de valència a la última capa.
- **Zona n**, negativa o altrament coneguda com a càtode o emissor, aquesta és la zona d'excés d'electrons. Formada per la difusió de fòsfor, que presenta 5 electrons de valència.

En la banda tipus n hi ha un excés d'electrons, els quals intenten desplaçar-se cap a la banda tipus p on hi ha un excés de forats. El desplaçament lliure dels electrons no és possible ja que en la zona de contacte entre superfícies es crea una barrera que impedeix el flux aleatori d'electrons, el flux passa a ser unidireccional. Connectant un conductor a cada superfície i aquests a una càrrega aconseguint un flux d'electrons i d'aquesta manera obtenim corrent elèctric. És un procés que produeix un corrent elèctric de baixa intensitat, però si es col·loquen un seguit de plaques en paral·lel es multiplica considerablement la intensitat del corrent. Per tant l'organització, distribució i dimensionat són aspectes de gran importància per tal de maximitzar el rendiment i treure el major profit a la instal·lació.

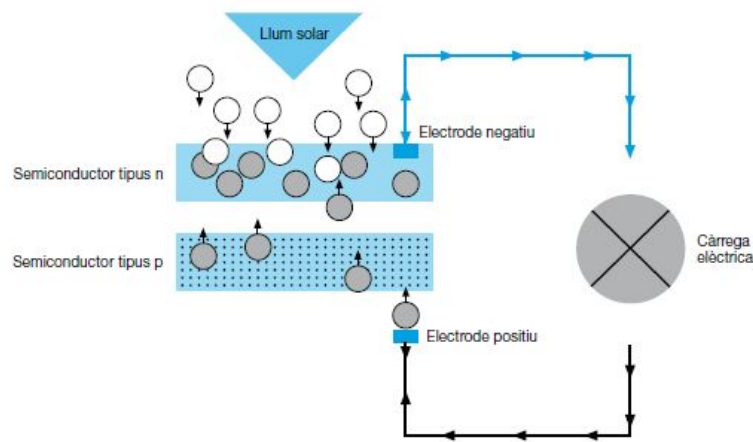


Figura 12: Funcionament panell fotovoltaic. Flux unidireccional dels electrons.

4.3.2. Instal·lacions fotovoltaiques

Les instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus incloses en l'àmbit d'aplicació del Real Decreto 413/2014, de 6 de juny, han estat classificades en categories, grups i subgrups, que es defineixen en l'article 2 del citat Real Decreto [1]. La següent classificació és la que respecta a les instal·lacions que utilitzen l'energia solar com a energia primària:

Categoria b) → Instal·lacions que utilitzen com a energia primària alguna de les energies renovables no fòssils. Aquesta categoria b) es classifica en buit grups, a continuació trobem el grup de les solars:

Grup b.1 → Instal·lacions que utilitzen com a energia primària l'energia solar. El grup es divideix en dos subgrups:

Subgrup b.1.1 → Instal·lacions que únicament utilitzen la radiació solar com a energia primària mitjançant la tecnologia fotovoltaica.

Subgrup b.1.2 → Instal·lacions que únicament utilitzen processos tèrmics per a la transformació de l'energia solar, com a energia primària, en electricitat.

L'*instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE)* [3], distingeix dos tipus d'instal·lacions dins el subgrup b.1.1: les instal·lacions aïllades, orientades fonamentalment a aplicacions de bombeig, senyalització, comunicacions i electrificació rural i, les instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica orientades a la venda d'energia elèctrica i autoconsum.

La nostre instal·lació està inclosa en el subgrup b.1.1 que fa referència a instal·lacions que utilitzen únicament la radiació com a font d'energia, formada per panells fotovoltaics com a únic element transformador d'energia solar en energia elèctrica. Vers l'anterior distinció entre instal·lacions, la que es planteja en el treball queda dins les connectades a la xarxa elèctrica. L'electricitat produïda per la nostra instal·lació no és suficient per abarcar tot el consum de l'edifici, pel que l'electricitat restant, s'agafa de la xarxa.

4.3.3. El panell fotovoltaic

El dispositiu que s'encarrega de dur a terme la transformació de l'energia solar en energia elèctrica per mitjà de l'efecte fotovoltaic és el panell fotovoltaic.

Una manera de classificar els panells solar és en funció del que produeixen, ja bé sigui corrent elèctric o calor. Aquesta classificació és útil per saber quin d'ells és el més apropiat per les necessitats finals dels diferents usuaris. Trobem tres tipus de panells:

- Panell solar fotovoltaic: el panell encarregat és l'ebcarreat de transformar l'energia solar en energia elèctrica. Per tant si el recurs que volem obtenir és corrent elèctric, aquest panell ens ho proporcionarà. Cada cop més hi han més instal·lacions amb aquests dispositius per ser pràctics, econòmics i rentables.



Figura 13: Panell solar fotovoltaic.

- Panell solar tèrmic: panell que permet la transformació de l'energia solar en calor. Les aplicacions d'aquest dispositiu són diverses, com pot ser la climatització, l'escalfament d'aigua per a ús sanitària, entre d'altres. Dins dels panells tèrmics podem distingir-los en funció de la temperatura a la que escalfen l'aigua, anant de baixes temperatures, uns 50 °C a altes temperatures de fins a 150 °C.



Figura 14: Panell solar tèrmic.

- Panell solar híbrid: Dispositiu que amb una única estructura realitza ambdues funcions, produir corrent elèctric i calor per l'escalfament d'aigua. Encara no s'han fet un lloc al mercat, però poc a poc es va investigant més sobre aquesta tecnologia.

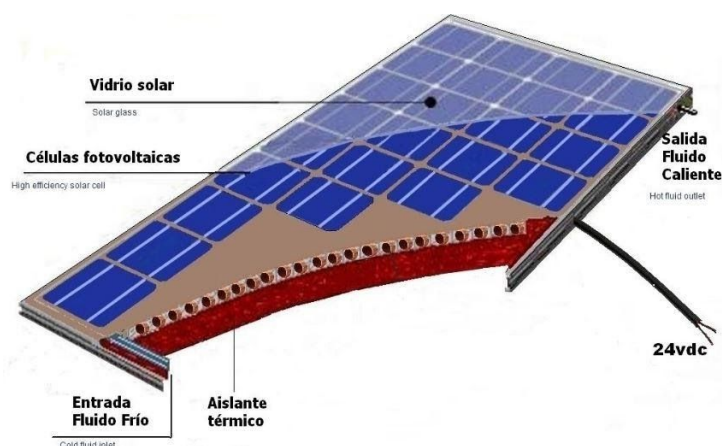


Figura 15: Panell solar híbrid.

El panell solar fotovoltaic és el que implementarem en la nostra instal·lació ja que tenim com a objectiu generar electricitat per a ser subministrada a l'edifici de l'ETSEIB. Els PV es poden classificar en funció de la tecnologia utilitzada en el panell, és a dir, el material del que estan formats.

- Panell monocristal·lí: Fàcilment reconeixible pel seu color negre, degut a la interacció de la llum al cristall. Es caracteritza per la seva alta eficiència i rendiment, en comparació amb els altres panells. Es disposen files i columnes de petites cèl·lules quadrades a les quals se'ls hi ha retallat les cantonades per reduir costos i optimitzar el seu rendiment. Per altre banda, és el tipus de panell amb major cost degut a la seva complexa obtenció dels cristalls, formant-se en una única direcció.



Figura 16: Panell solar monocristal·lí.

- Panell policristal·lí: Aquest tipus de panell és compost per un conjunt de cristalls fet que suposa el color blavós característics d'aquestes cèl·lules. És el panell més utilitzant en la indústria degut al seu baix cost, però això suposa inconvenients, ja que a certes temperatures disminueix considerablement la eficiència i rendiment.



Figura 17: Panell solar policristal·lí.

- Panell de capa fina: La principal característica és la seva flexibilitat i portabilitat, degut a la poca quantitat de material emprat. El poc material utilitzat per la seva producció abarateix el seu cost i el fa competent amb els altres panells. Cal destacar que és un tipus de panell relativament nou, fet pel qual presenta una eficiència encara baixa. Els principals panells de capa fina són els de silici amorf (a-Si), de tel·luri de cadmi (CdTe), de coure, indi, gal·li i seleni (GIS/CIGS).



Figura 18: Panell solar de capa fina.

4.3.3.1 Funcionament cèl·lula fotovoltaica

Les cèl·lules solars estableixen les seves condicions de treball en funció dels següents paràmetres:

- Radiació solar incident (1.000 W/m^2)
- Distribució espectral (AM 1,5 G)
- Temperatura de treball (25°C)

Per poder catalogar, definir i comparar cèl·lules de diferents materials, es tenen en compte els següents punts característics de les cèl·lules solars. Els trobem reflectits en la corba I-V. Aquests paràmetres varien en modificar els paràmetres principals de la cèl·lula.

- **Corrent de curtcircuit (I_{cc} o I_{sc}).** És el corrent produït quan el potencial és pràcticament nul, degut a la interconnexió dels dos borns. Això suposa una recombinació mínima i un corrent generat gairebé màxim. Aquest corrent no és pas destructiu, ja que la intensitat resultant és la màxima que poden produir les cèl·lules per la qual estan dissenyades.

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{fórmula 1.}$$

- **Voltatge de circuit obert (Vco o Voc).** El circuit queda obert, sense cap càrrega o consum connectat, per tant, el corrent generat és nul i la tensió és la màxima que pot donar el mòdul. Es produeix la recombinació dels portadors generats a l'interior de la cèl·lula i, la zona de transició entre el material p i n s'eixample, fet que produeix que el voltatge augmenti fins el valor Vco.
- **Punt de màxima potència (Pmp).** Com podem observar en la figura 15, per cada parell intensitat - voltatge es genera una àrea en forma de rectangle. Hi destaca el rectangle de màxima àrea, sent el seu vèrtex el punt de treball anomenat punt de potència màxima, conegut com a Potència pic (Wp) quan fa referència a una radiació solar de 1.000 W/m². Associats a aquest punt trobem la Intensitat de punt de màxima potència (Ipmp), la tensió de punt de màxima potència (Vpmp).

$$P = V \cdot I \quad \text{fórmula 2.}$$

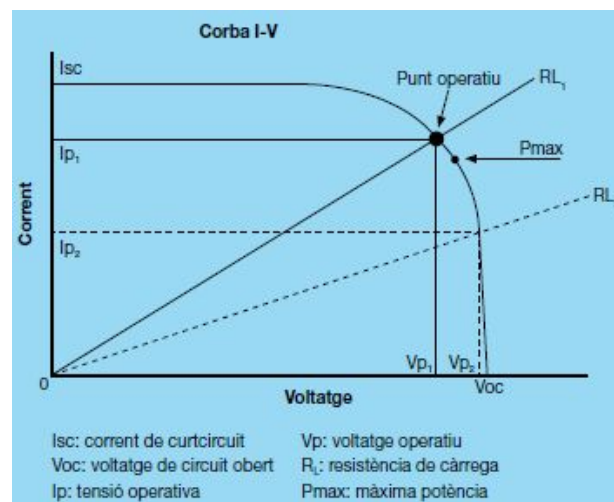


Figura 19: Paràmetres característics d'una cèl·lula solar.

Trobem altres característiques de les plaques fotovoltaïques que calen ser exposats.

El corrent elèctric generat en les cèl·lules solars és directament proporcional a la intensitat de la radiació incident. La següent fórmula en mostra la relació.

$$I_L = X \cdot I_{L1} \quad \text{fórmula 3.}$$

Sent:

I_L : el valor de corrent elèctric generat a una certa radiació solar

X: el nº de vegades de radiació estàndard en les condicions actuals de la cèl·lula

I_{L1} : Corrent generat en les condicions estàndard (1 sol, que és el mateix a $1.000 \frac{W}{m^2}$)

Un aspecte a considerar d'una placa solar és com afecta la temperatura ambient al rendiment del mòdul. La potència del mòdul disminueix un 0,5% per cada grau centígrad que augmenta de temperatura per sobre de 25°C.

$$T_{treball}^{\circ} \approx T_{ambient}^{\circ} + 25^{\circ}C \quad \text{fórmula 4.}$$

L'eficiència del mòdul solar és la relació entre la potència elèctrica produïda pel mòdul i la potència de radiació incident a aquesta.

$$\text{Eficiència del mòdul} = \frac{\text{Potència elèctrica produïda}}{\text{Potència de radiació incident}} \quad \text{fórmula 5.}$$

Per últim, presentar el factor de forma (FF), element emprat per a mesurar la forma de la corba del mòdul, regit per la següent fórmula:

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad \text{fórmula 6.}$$

4.3.3.2 Connexionat entre mòduls

Per qualsevol tipus d'instal·lació, ja ve sigui aïllada o connectada a la xarxa elèctrica, els mòduls es poden connectar en sèrie, en paral·lel i/o mixte. La potència obtinguda serà la mateixa, però el voltatge i la intensitat resultant de la instal·lació canviarà en funció del sistema escollit.

- **Connexió en sèrie:** Es connecta el pol positiu d'un mòdul solar amb el pol negatiu del següent mòdul, així fins a tenir tots els mòduls de la instal·lació connectats. Finalment, obtenim el positiu del conjunt de l'últim mòdul i, el negatiu del primer mòdul. En aquest tipus de connexions, l'intensitat del conjunt és igual a la d'un mòdul, en canvi, el voltatge total és igual a la suma del de tots els mòduls.

$$I_{total} = I_{mòdul} \quad \text{fórmula 7.}$$

$$V_{total} = X \cdot V_{mòdul} \quad \text{sent, X el nº de mòduls de tota la instal·lació. Fórmula 8.}$$

$$P_{total} = V_{total} \cdot I_{total} \quad \text{fórmula 9.}$$

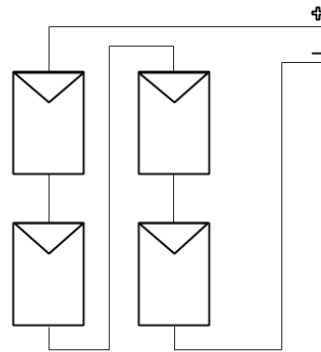


Figura 20: Connexió en sèrie de panells solars.

- Connexió en paral·lel: Es basa en connectar tots els terminals positius per una banda i , tots els terminals negatius per una altre, obtenint així dos terminals del conjunt. A diferència de la connexió en sèrie, el voltatge del conjunt és el que es manté constant i és igual al de un mòdul i, la intensitat total és la suma de la de tots els mòduls.

- $I_{total} = X \cdot I_{mòdul}$ sent, X el nº de mòduls de tota la instal·lació. *Fórmula 10.*

- $V_{total} = V_{mòdul}$ *fórmula 11.*

- $P_{total} = V_{total} \cdot I_{total}$ *fórmula 12.*

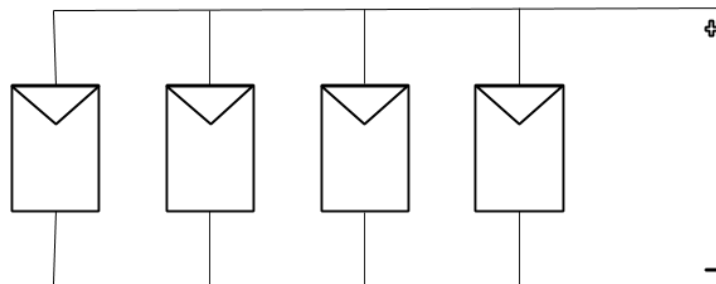


Figura 21: Connexió en paral·lel de panells solars.

- Connexió sèrie - paral·lel o mixta: Sistema més emprat en instal·lacions grans, on es connecten en sèrie els mòduls per obtenir el voltatge de funcionament i, en paral·lel els mòduls necessaris per obtenir la potència desitjada.

- $I_{total} = X_p \cdot I_{mòdul}$ sent, X_p el nº de mòduls en paral·lel de la

instal·lació. *Fórmula 13.*

- $V_{total} = X_s V_{mòdul}$ sent X_s el n° de mòduls en sèrie de la instal·lació.

Fórmula 14.

- $P_{total} = V_{total} \cdot I_{total}$ *Fórmula 15.*

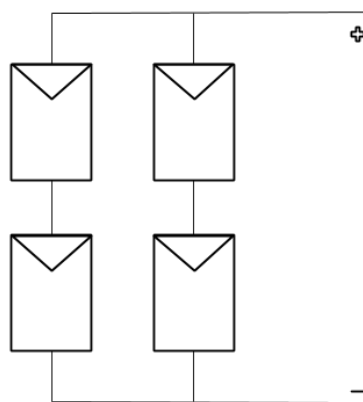


Figura 22: Connexió mixta de panells solars.

5. Lloc d'aplicació

5.1. Edifici ETSEIB

L'ETSEIB és un edifici de grans dimensions, amb una alçada superior a la resta d'edificis del seu voltant, fets que el fan una arquitectura idònia per estudiar-hi sistemes de captació d'energia solar.

La seva alçada permet instal·lar-hi plaques fotovoltaïques en la seva coberta, ja que el % de pèrdues per ombres, sense tenir en compte les que puguin ocasionar els mateixos mòduls, són mínimes. La coberta és plana el que suposa plena llibertat per orientar les plaques cap al Sud, sent aquesta la millor orientació possible.

L'altra superfície on es pot pensar instal·lar altres sistemes fotovoltaïcs són les façanes. Considerem l'edifici simètric respecte el pla transversal i longitudinal. El pla transversal separa la cara Nord de la Sud i, el pla longitudinal la cara Est de l'Oest.

A nivell de radiació solar, la cara Nord és la més desfavorable, ja que el propi edifici fa ombra durant el dia. És per això que es descarta aquesta façana per estudiar el sistema solar, la producció seria extremadament escassa.

La façana orientada cap al Sud, presenta la millor orientació per a instal·lar-hi qualsevol sistema de captació solar, ja que aquesta és l'òptima, presenta un angle d'Azimut de 0°. Es considera que té aproximadament les mateixes dimensions que la Nord. És totalment llisa, sense finestres ni obstacles que dificultin la instal·lació. Amb les anteriors consideracions queda clar que és el lloc idoni per a realitzar la instal·lació, però el projecte pretén estudiar superfícies més complexes i que presenten algunes adversitats com les finestres que trobem en les façanes de la cara Est o Oest.

La façana Est, juntament amb l'Oest, són de majors dimensions que les anteriors façanes. Aquesta propietat permet obtenir una producció energètica superior, generant més kWh. Ambdues façanes disposen de finestres, pel que l'estudi ja no és tan trivial sinó que cal tenir en consideració el material escollit. El principal inconvenient d'aquesta

façana és la gran proximitat a l'edifici de la facultat de Física i Química, fet que suposaria una gran % de pèrdues per ombres. Pel que es descarta com a lloc d'aplicació de la instal·lació.

La darrera façana és l'Oest, que com s'ha comentat anteriorment, és de grans dimensions i amb finestres, però amb l'avantatge que no té grans infraestructures davant seu ni, que li provoquin ombres considerables. L'edifici de la facultat d'Arquitectura es troba suficientment allunyat i, és de menor alçada pel que la rellevància és menor. Aquesta façana ens dona molt joc a l'hora de buscar un sistema que encaixi en les diferents superfícies que presenta.

Com a conclusió, tot i que la millor façana és l'orientada al Sud, es decideix realitzar l'estudi del sistema de captació solar en la façana Oest per les seves dimensions, presentar diferents superfícies, enriquint l'estudi i, no presentar grans estructures en les seves proximitats augmentant el % de pèrdues per ombres.

Els angles significatius de la nostra instal·lació, que utilitzarem per a diferents càlculs són:

- Azimut α : És l'angle sobre l'horitzontal respecte el punt cardinal Sud. La nostra instal·lació al estar orientada cap a l'Oest, el seu azimut és 90° positius.
- Inclinació β : Angle que forma la superfície de la instal·lació amb l'horitzontal. Com la nostra instal·lació se situa en la façana de l'edifici, aquest és perpendicular al terra, per tant, la inclinació és de 90° .

5.2. Façana Oest

Ens interessa estudiar zones de gran superfície amb radiació directa del Sol, sense obstacles propers que puguin crear ombres durant les hores de Sol.

La façana Est de l'edifici H de l'ETSEIB, la més propera a la facultat de Física i Química i, la façana Oest, la més propera a la facultat d'arquitectura.

La façana Est rep gran part de la radiació al llarg del matí, disminuint a mesura que avança el dia fins no rebre cap a la tarda. Això és degut al fet que el mateix edifici li fa ombra i no rep cap classe de radiació.

Contràriament, la façana Oest gairebé no rep radiació durant les primeres hores del matí i a mesura que avança el dia va augmentant. Les ombres que rep aquesta façana per altres edificis que no sigui la mateixa ETSEIB són mínimes. És per això que decidim estudiar la façana Oest de l'edifici de l'escola

L'edifici H tot i tenir 13 plantes, només tindrem en compte en el nostre estudi les que va de la planta 1 a la 11, ja que són les que reben radiació solar. Cada planta fa aproximadament 4,06 m, per tant, sent 11 les plantes a tenir en compte, les dimensions de les façanes són les següents:

- Façana Oest: $4,06 \text{ m} * 11 \text{ plantes} = 44,66 \text{ m}$ d'alçada i, 54 m d'amplada. Això fa un total de $2411,64 \text{ m}^2$

En la façana trobem superfície opaca, formada pels plafons de la paret i, superfície transparent dels vidres de les finestres.

Podem aproximar com a iguals el % de superfície opaca i transparent, és a dir, el 50% respectivament. Per tant, la distribució de la superfície de cada façana en funció del tipus de superfície queda amb $1205,83 \text{ m}^2$.

Aquesta diferenciació la fem, ja que a priori, no s'aplicarà el mateix sistema en les dues superfícies. Ja que en la superfície transparent, ens interessa seguir amb la funció principal de les finestres, deixar passar el llum i, poder-se obrir en cas de necessitat.

Les mesures anteriorment esmentades són les de la superfície total de les façanes, que serà diferent de la superfície utilitzada pels sistemes captadors de l'energia solar. Ja que, per una banda cal deixar una distància de seguretat entre plaques i, per altra banda, s'ha de considerar una separació a les bores dels límits. Tant a les bores superiors, inferiors com laterals.

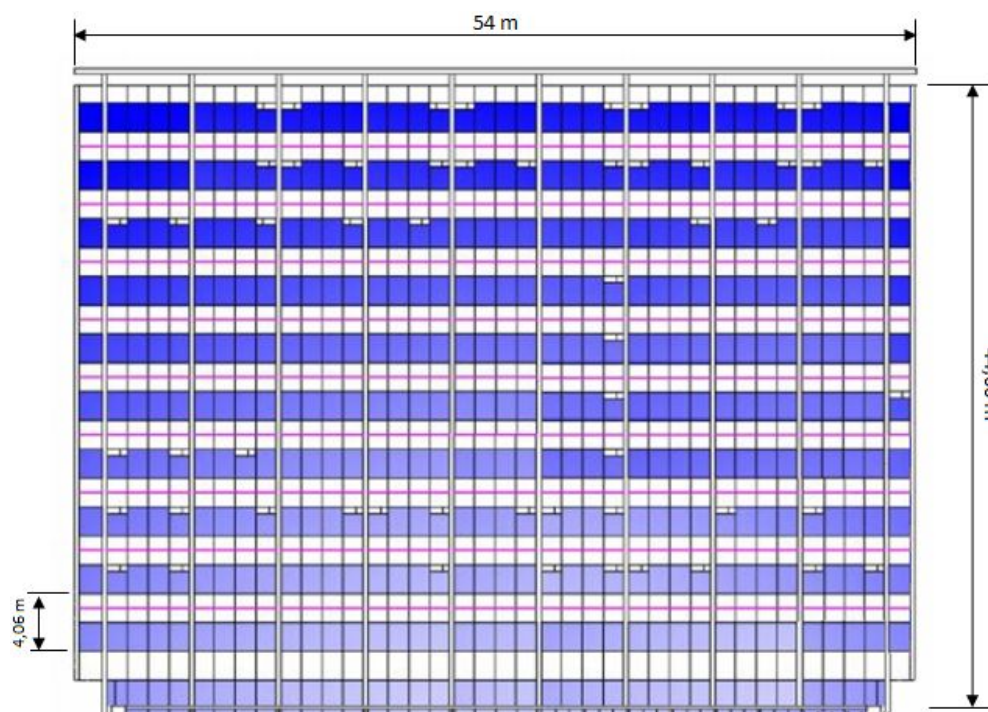


Figura 23: Façana Oest de l'ETSEIB.

Cada planta està dividida en 11 parts, sent 9 de 5,68 m i els dos dels extrems de 1,42 m cada una. Dins la superfície d'estudi trobem els 9 blocs de 5,68 m, deixant els extrems com a distància de seguretat i, per facilitar tasques de manteniment.

Cada tram dels 9 que hi ha en una planta té una superfície transparent d'11,53 m², ja que cada bloc presenta quatre finestres.

Els m² de superfície opaca i transparent per planta, és en ambdós casos: 1038,5 m². Arrodonint els resultats a valors enters queda 1038 m².

Cada planta té una alçada de 4,06 m dels quals 2,03 m corresponen a la finestra i els altres 2,03 m a la paret.

La superfície a estudiar de cada planta és de 103,8 m².

Per tant, la superfície d'estudi on hi anirà la instal·lació, és de 10 plantes, amb una alçada total de 40,6 m i una llargada de 51,16 m sentí la superfície total de 2077,1 m². És la representada en l'interior del rectangle vermell de la figura 20.



Figura 24: Superfície on s'instal·larà el sistema de captació d'energia.

6. Recurs energètic

El Sol és una font natural d'energia de recursos il·limitats. La Terra rep l'energia solar en forma d'ona electromagnètica conegut com a radiació solar. Part de la radiació rebuda té la longitud d'ona de la llum visible, la resta arriba en longituds d'ona fora del rang de la llum visible, sent en major proporció l'infraroig i en menor quantitat l'ultraviolat.

Com tota radiació quan incideix sobre un medi de diferents propietats, es dona lloc als següents fenòmens físics:

- **Reflexió:** part de la radiació que rebota contra la superfície i, no la travessa.
- **Absorció:** quantitat de radiació que es queda en la superfície produint un augment de la temperatura d'aquesta.
- **Transmissió:** part restant que travessa la superfície sense modificar-hi la temperatura i, que sortirà més o menys desviada en funció de la refracció.

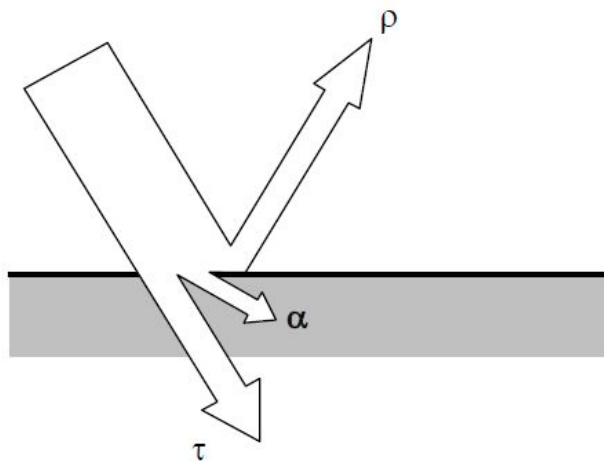


Figura 25: Radiació solar a través d'un medi o superfície.

Per tant, de la radiació emesa pel Sol, només una porció arriba a la superfície terrestre. El flux d'energia disminueix en funció que augmenta la longitud d'ona, és a dir, a mesura que sortim de l'espectre de llum visible i entrem a l'infraroig.

Hi ha diferents factors que afecten la radiació incident en una superfície, com són la

localització geogràfica del lloc de la instal·lació, l'estació de l'any en què ens trobem, alçada del lloc d'aplicació, factors ambientals i relacionats amb el clima. A continuació es desglossen aquests factors:

- **Localització geogràfica:** la radiació incident és diferent en funció de la latitud a què et trobis. A mesura que sortim de l'equador, la radiació va perdent perpendicular amb la superfície, pel que disminueix el flux incident. En canvi, si ens situem en l'equador la radiació, és més perpendicular i el nivell de radiació per metre quadrat de superfície és major a l'estar més concentrat el flux en menor espai.
- **Alçada del lloc d'aplicació:** Com major sigui l'alçada respecte a el nivell del mar, la quantitat de radiació incident serà major, ja que aquesta ha de recórrer menys distància fins arribar a la instal·lació. Es disminuiran les possibles pèrdues o refraccions amb altres medis sent major la radiació incident.
- **Les estacions de l'any:** Durant l'any la Terra va girant al voltant del Sol, a més a més, amb certa inclinació, fet que dona lloc a les estacions de l'any. En cada estació de l'any, tenim diferent angle d'incidència, sent major en l'estiu i menor a l'hivern, en l'hemisferi nord. Relacionat amb les estacions tenim el temps que està exposats els nostres panells a la radiació solar, ja que els dies disposen més hores de Sol a l'estiu, en canvi moltes menys a l'hivern.
- **Factors ambientals:** La radiació que incideix està composta per la radiació directa, aquella que no pateix canvis de refracció ni altres modificacions i, la difusa, corresponent a la radiació desviada pels núvols. Per tant, la radiació es veurà afectada per les condicions meteorològiques de la localització. En dies clars sense núvols el percentatge de radiació incident serà totalment directa, en canvi, si el cel està parcialment ennuvolat, la radiació difusa pren protagonisme. Finalment, si el cel està totalment tapat, només arribarà radiació difusa.

Saber la radiació que arriba a una determinada superfície ens permet avaluar l'energia solar incident en la instal·lació, veure en quines hores funcionarà a màxima potència, poder estudiar com treure el màxim rendiment a la instal·lació, entre d'altres.

Per tal de saber la quantitat d'energia que la radiació aporta a la instal·lació hi ha unes taules de radiació on es recopila aquesta informació per a períodes de temps concrets. A

continuació trobem diferents taules on s'hi pot extreure força informació, aquestes taules han sigut extretes de l'*Atles de radiació solar a Catalunya* [9], expressada en MJ. On 1 MJ equival a 0,27 kWh.

Per a una instal·lació orientada cap a l'Oest, 90° i, amb una inclinació de 90°, ja que està integrada en la façana de l'edifici, s'ha recollit la radiació solar global diària en la taula 1. Veiem que la radiació global és major en els mesos de maig, juny o juliol i, menor en els mesos de gener, novembre i desembre. Que sigui major no vol dir que ens interressi més, ja que com hem comentat anteriorment, en els mesos d'estiu, el Sol està més amunt pel que la seva radiació serà perpendicular al terra sent escassa la radiació directa a la façana. Per tant, en instal·lacions en façanes, es traurà més profit a la radiació solar els mesos d'hivern encara que sigui en menor quantitat, a causa de l'angle d'incidència de la radiació en la façana.

Orientació: 90°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	6,80	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,40	7,73	6,04	15,04
5°	6,82	9,65	13,89	18,59	22,24	24,02	23,36	20,43	16,05	11,40	7,74	6,08	15,05
10°	6,84	9,63	13,89	18,54	22,16	23,87	23,24	20,39	16,00	11,34	7,76	6,09	15,00
15°	6,82	9,60	13,81	18,45	21,99	23,67	23,05	20,24	15,90	11,27	7,74	6,11	14,91
20°	6,84	9,52	13,73	18,29	21,73	23,34	22,74	20,08	15,74	11,17	7,74	6,12	14,78
25°	6,83	9,46	13,59	18,06	21,42	22,97	22,41	19,80	15,58	11,03	7,72	6,11	14,61
30°	6,78	9,37	13,41	17,82	21,01	22,49	21,95	19,52	15,33	10,91	7,65	6,10	14,39
35°	6,76	9,23	13,25	17,48	20,60	21,99	21,50	19,14	15,09	10,74	7,61	6,09	14,15
40°	6,72	9,11	13,01	17,17	20,07	21,41	20,94	18,73	14,80	10,52	7,55	6,05	13,86
45°	6,63	8,97	12,74	16,77	19,57	20,77	20,36	18,30	14,43	10,35	7,45	5,98	13,55
50°	6,52	8,78	12,49	16,31	18,97	20,12	19,73	17,76	14,11	10,11	7,31	5,92	13,20
55°	6,44	8,55	12,17	15,89	18,33	19,35	19,01	17,26	13,73	9,82	7,20	5,85	12,82
60°	6,33	8,37	11,78	15,38	17,70	18,67	18,36	16,70	13,27	9,55	7,07	5,76	12,43
65°	6,18	8,14	11,45	14,80	16,98	17,88	17,60	16,04	12,82	9,27	6,90	5,63	11,99
70°	6,00	7,87	11,07	14,29	16,27	17,05	16,82	15,45	12,38	8,95	6,70	5,47	11,54
75°	5,79	7,56	10,63	13,71	15,56	16,28	16,07	14,80	11,86	8,57	6,46	5,29	11,07
80°	5,62	7,26	10,14	13,06	14,76	15,42	15,24	14,08	11,29	8,19	6,25	5,15	10,55
85°	5,42	6,97	9,73	12,46	14,00	14,58	14,42	13,40	10,79	7,85	6,02	4,97	10,07
90°	5,20	6,65	9,27	11,84	13,26	13,77	13,64	12,72	10,26	7,47	5,77	4,78	9,57

Taula 1: Radiació solar global diària sobre superfícies inclinades, en MJ-m²-dia.

La taula 2 ens desglossa la radiació solar diària durant les diferents hores del dia. Les hores de Sol se centren majoritàriament entre les 8 i les 17 on, en major o menor

intensitat arriben a la nostra façana.

En ser una façana orientada a l'Oest, la radiació augmenta a mesura que el dia avança, sent major en les últimes hores de Sol. Per a la nostra aplicació ja està bé, ja que durant les primeres hores de Sol i al llarg del migdia, la lluminositat de l'edifici és elevada pel que el consum d'electricitat hauria de ser menor. En canvi, un cop traspassat el migdia, la lluminositat durant la tarda va disminuint i el consum energètic global de l'edifici és major, pel que la nostra instal·lació fotovoltaica contrarestaria aquest increment.

Inclinació: 90°. Orientació: 90°																	
Mes	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	Total
Gen	0	0	0	27	140	236	303	338	556	903	1070	1008	619	0	0	0	5200
Feb	0	0	0	95	213	310	378	413	657	1057	1273	1254	1003	0	0	0	6653
Mar	0	0	57	185	302	396	461	493	768	1229	1508	1550	1357	960	0	0	9266
Abr	0	12	143	269	379	465	522	550	846	1356	1691	1798	1673	1358	778	0	11840
Mai	0	85	204	320	421	498	535	551	859	1407	1767	1920	1853	1599	1237	0	13257
Jun	0	118	230	342	437	504	540	552	861	1416	1811	1965	1925	1701	1370	0	13772
Jul	0	102	217	330	427	497	535	549	861	1419	1814	1963	1914	1679	1336	0	13643
Ago	0	43	167	288	393	475	521	542	855	1405	1758	1895	1802	1517	1062	0	12722
Set	0	0	89	218	331	422	484	514	809	1310	1628	1709	1550	1197	0	0	10261
Oct	0	0	0	129	248	344	412	446	713	1155	1409	1421	1194	0	0	0	7471
Nov	0	0	0	49	161	257	325	360	591	965	1154	1111	794	0	0	0	5766
Des	0	0	0	5	119	213	281	316	528	862	1016	942	494	0	0	0	4775

Taula 2: Radiació solar global diària sobre superfícies inclinades, en kJ/m².

La majoria de panells fotovoltaics disposen d'un vidre en la part més externa, sobre de les cèl·lules solars. Aquest vidre actua com a superfície i produeix el mateix efecte a la radiació que el provocat en l'atmosfera. Hi ha un percentatge de la radiació incident que es reflectirà, altre que absorbeix augmentant la temperatura i, la part més important, la que es transmetrà a les cèl·lules. Això fa que la radiació final sigui menor. Les taules 3 i 4 en recullen la radiació solar global diària en instal·lacions sense i amb vidre. En elles es pot veure l'esmentada reducció de radiació, fet que es tindrà en compte a l'hora de fer els càlculs de producció i dimensionat de la instal·lació.

Sense vidre													
Orientació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	12,43	13,23	13,44	12,11	10,41	9,57	9,99	11,62	13,30	13,74	13,04	12,16	12,08
15°	12,08	12,87	13,25	12,34	10,87	10,02	10,45	11,89	13,26	13,38	12,67	11,81	12,07
30°	11,04	11,93	12,84	12,74	11,86	11,23	11,58	12,61	13,11	12,49	11,62	10,79	11,98
45°	9,66	10,73	12,25	13,00	12,73	12,45	12,66	13,18	12,77	11,38	10,26	9,33	11,70
60°	8,14	9,41	11,42	12,97	13,36	13,33	13,45	13,45	12,17	10,16	8,75	7,77	11,21
75°	6,63	8,03	10,43	12,52	13,49	13,77	13,75	13,22	11,32	8,84	7,23	6,21	10,47
90°	5,20	6,65	9,27	11,84	13,26	13,77	13,64	12,72	10,26	7,47	5,77	4,78	9,57
105°	3,95	5,34	7,93	10,71	12,48	13,21	12,97	11,68	8,94	6,10	4,45	3,55	8,46
120°	2,97	4,20	6,60	9,47	11,41	12,24	11,94	10,48	7,58	4,86	3,38	2,62	7,33
135°	2,35	3,37	5,42	8,06	9,98	10,91	10,54	8,97	6,28	3,90	2,66	2,05	6,22
150°	2,09	2,91	4,48	6,68	8,48	9,34	8,97	7,46	5,16	3,32	2,32	1,87	5,27
165°	2,09	2,82	3,93	5,58	7,11	7,91	7,55	6,15	4,40	3,16	2,30	1,87	4,58
180°	2,09	2,82	3,79	5,12	6,51	7,39	6,98	5,67	4,12	3,16	2,30	1,87	4,33

Taula 3: Radiació solar global diària sobre superfícies verticals, en MJ/m²/dia, sense vidre.

Vidre senzill (6 mm)													
Orientació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
0°	9,74	10,21	9,99	8,60	7,06	6,34	6,66	8,06	9,71	10,52	10,19	9,57	8,88
15°	9,42	9,89	9,92	8,84	7,46	6,73	7,07	8,37	9,79	10,21	9,85	9,25	8,89
30°	8,54	9,13	9,69	9,34	8,39	7,77	8,09	9,14	9,81	9,53	8,97	8,36	8,89
45°	7,41	8,18	9,29	9,73	9,35	9,00	9,22	9,79	9,64	8,68	7,86	7,17	8,78
60°	6,19	7,14	8,69	9,80	9,99	9,90	10,02	10,12	9,24	7,71	6,65	5,91	8,45
75°	4,97	6,03	7,90	9,52	10,20	10,39	10,38	10,05	8,58	6,66	5,42	4,65	7,90
90°	3,83	4,93	6,96	8,96	10,03	10,40	10,30	9,63	7,72	5,56	4,26	3,50	7,18
105°	2,84	3,90	5,91	8,10	9,44	9,98	9,81	8,86	6,69	4,48	3,22	2,54	6,33
120°	2,10	3,02	4,85	7,05	8,55	9,20	8,97	7,83	5,59	3,51	2,40	1,84	5,42
135°	1,67	2,40	3,92	5,93	7,41	8,10	7,82	6,64	4,54	2,79	1,89	1,46	4,56
150°	1,54	2,11	3,21	4,85	6,18	6,82	6,55	5,43	3,68	2,40	1,71	1,38	3,83
165°	1,54	2,08	2,86	4,01	5,07	5,63	5,36	4,42	3,17	2,33	1,70	1,38	3,30
180°	1,54	2,08	2,80	3,64	4,58	5,13	4,85	3,99	3,04	2,33	1,70	1,38	3,09

Taula 4: Radiació solar global diària sobre superfícies verticals, en MJ-m²-dia, amb un vidre de 6 mm d'espessor.

En qualsevol instal·lació on es pretén aprofitar la radiació solar cal tenir en compte els següents paràmetres: superfície disponible, orientació i inclinació i, les ombres a les que pugui estar sotmès.

La superfície disponible i, utilitzada s'ha estudiat en l'anterior punt, sent aquest d'un total

de 2077,1 m² disposats en 10 plantes amb diferents superfícies. Una part de vidre transparent en les finestres i l'altra part de paret.

L'orientació i la inclinació vénen definides per la façana triada, l'Oest. Per tant, l'orientació és 90° i la inclinació també de 90°.

Segons el *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red* [2], les instal·lacions han de presentar unes pèrdues inferiors a les recollides en la taula 5.

	<i>Orientación e inclinación (OI)</i>	<i>Sombras (S)</i>	<i>Total (OI+ S)</i>
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Taula 5: Percentatge de pèrdues màximes per orientació, inclinació i ombres, en funció del tipus d'instal·lació.

La nostra instal·lació és de superposició pel que les pèrdues per Orientació i Inclinació no poden superar el 20%.

Per saber si la nostra instal·lació està per sota d'aquest percentatge límit s'utilitza la figura 22. Radialment trobem els diferents angles azimuts que poden prendre les instal·lacions. Els diferents cercles concèntrics marquen els angles d'inclinació de les instal·lacions i, per últim les diferents el·lipses delimiten les àrees corresponents als percentatges de rendiment de les instal·lacions traient-li les pèrdues per Orientació i Inclinació (OI). És a dir que per instal·lacions amb un 20%-30% de pèrdues haurem de mirar l'àrea quadriculada del 70%-80%.

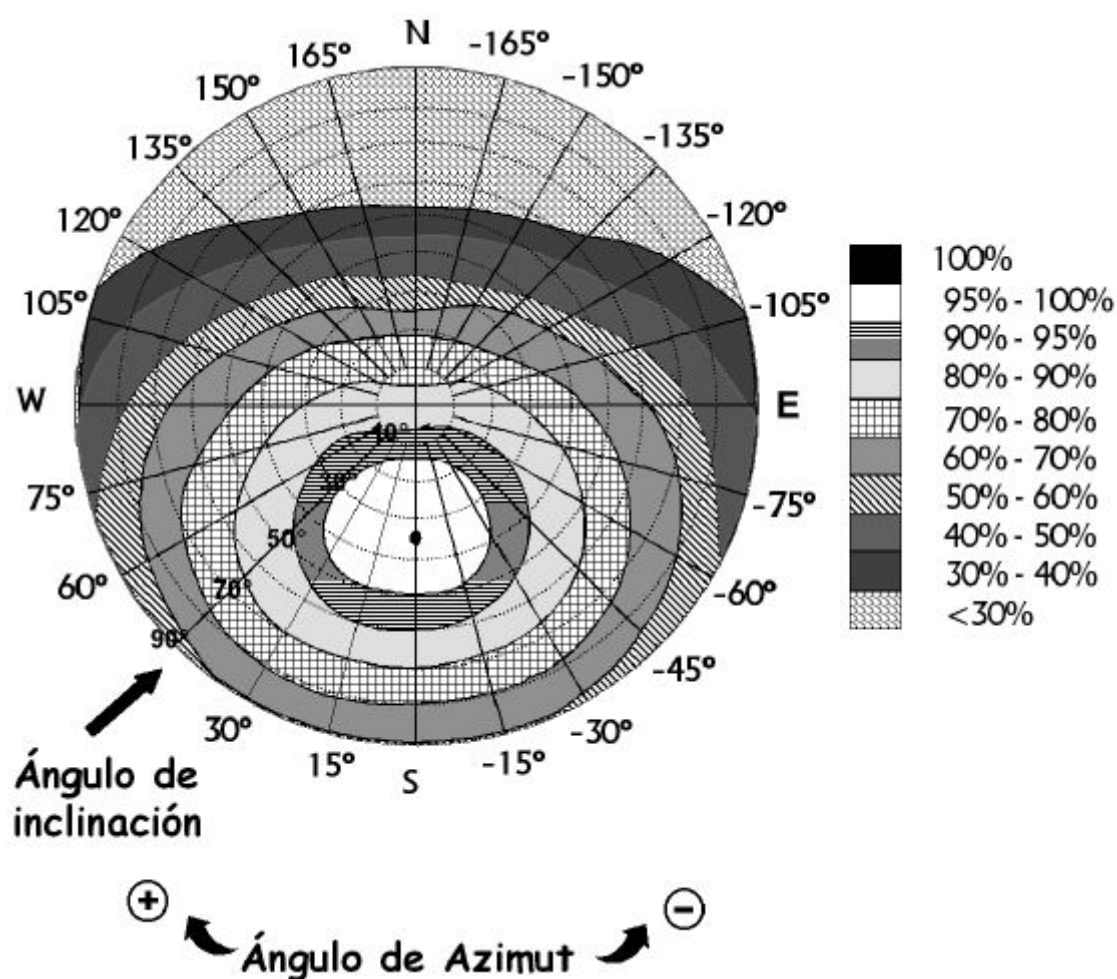


Figura 25: Figura per determinar les pèrdues de la instal·lació en funció de l'Orientació i la Inclinação.

En la figura 23, veiem delimitada de color verd, la zona que com a màxim es presentarà un 20% en pèrdues degudes a l'orientació i la inclinació. En vermell està ressaltada la línia del nostre azimut, 90°. On interseca la línia vermella i l'àrea verda, ens indica la inclinació màxima i mínima que pot tenir la instal·lació per tal de no superar el 20% de pèrdues. Per tant, la inclinació màxima és de 30° i la mínima de 0°. La nostra instal·lació al presentar una inclinació de 90° no està compresa dins del rang acceptable, pel que no seria vàlida i, no compliria els requisits establerts en el Pliego de Condiciones.

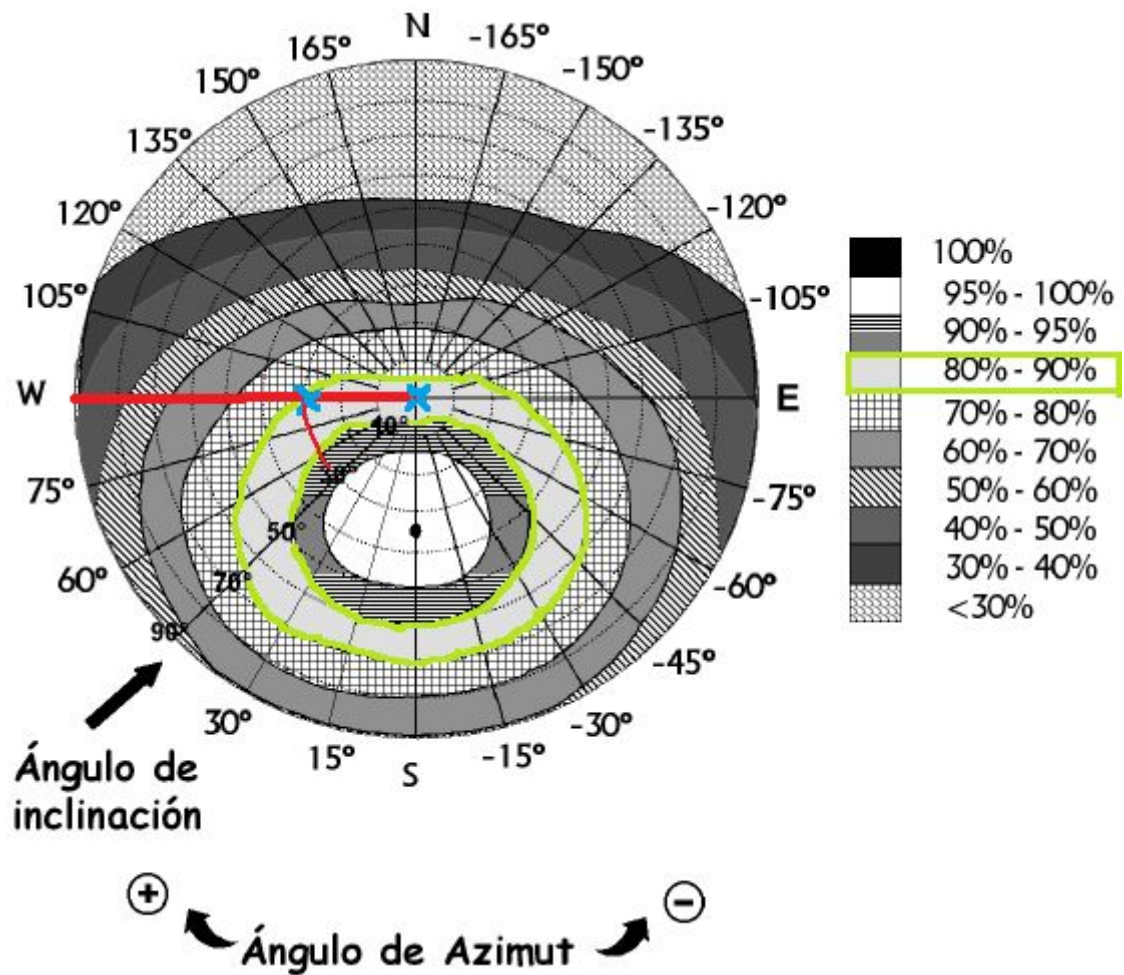


Figura 26: Procediment per determinar el rang d'inclinació amb un 10% - 20% de pèrdues per OI.

Si volem veure les pèrdues reals que tindrà la nostra instal·lació hem de marcar, primer de tot la línia de l'azimut, sent el nostre de 90°. A continuació resseguir la corba de la circumferència dels 90° d'inclinació de la instal·lació. Finalment veure en quina zona de percentatge de pèrdues d'OI intersequen. Veiem que es tallen en l'exterior de l'el·lipse del 40%-50%, per tant, les pèrdues totals de la instal·lació seran aproximadament del 60%. Òbviament com ja havia comentat anteriorment, la instal·lació està fora dels límits permesos, superant-los un 40% les pèrdues màximes.

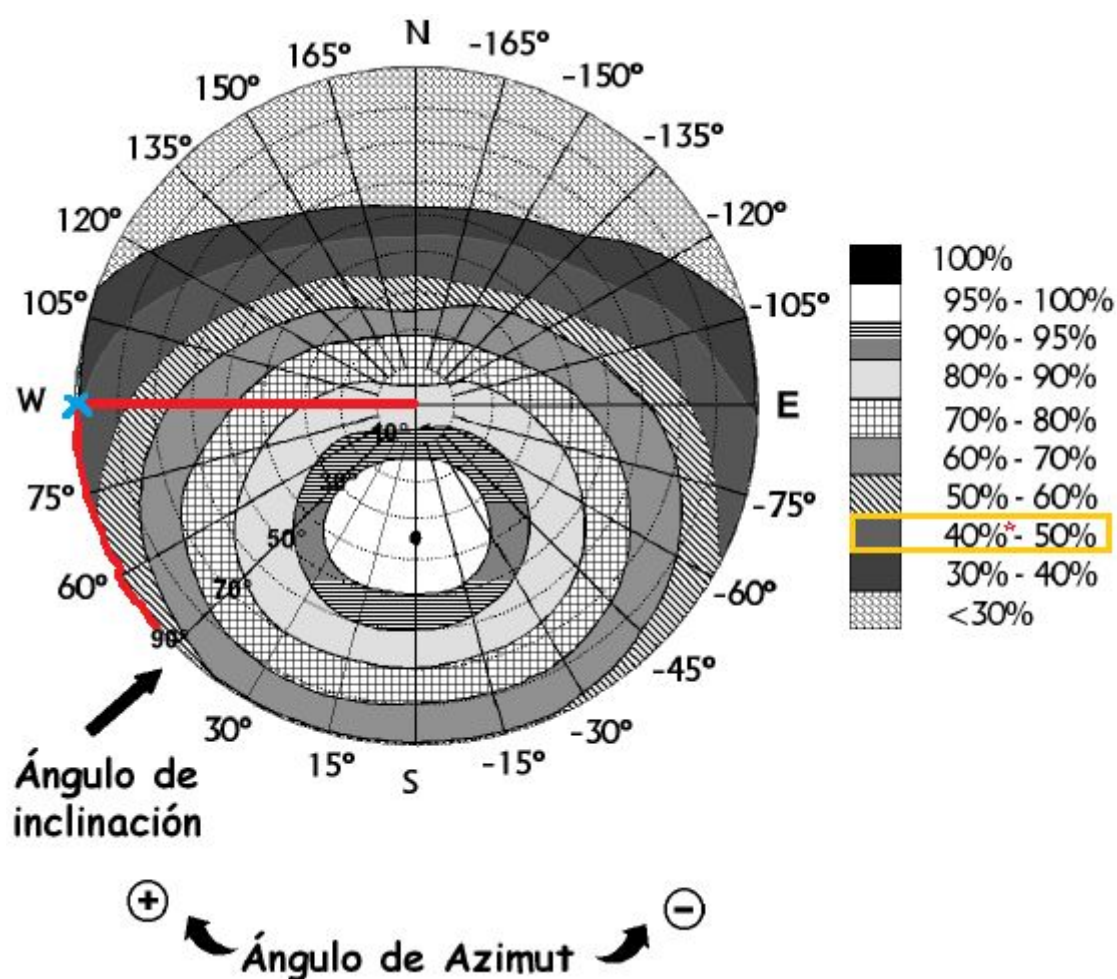


Figura 27: Càlcul de les pèrdues per OI per la nostra instal·lació.

El darrer aspecte a considerar són les ombres que puguin haver-hi sobre la instal·lació al llarg del recorregut del Sol. Podem diferenciar les ombres propers, aquelles que cobreixen part de la superfície durant un mínim de 4 hores entorn al migdia del solstici d'hivern i, les ombres llunyanes

No es considera que hi hagi obstacles que puguin ocasionar ombres properes com arbres de gran alçada propers a la instal·lació.

Pel que respecta a ombres llunyanes, s'utilitzen taules on es compara la trajectòria del Sol al llarg del dia amb els possibles obstacles, en general edificis. Aquestes taules estan recollides en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red,

cada conjunt d'azimut i inclinació té la seva corresponent taula. Les taules serveixen juntament amb la figura 25 per determinar el percentatge de pèrdues per ombra.

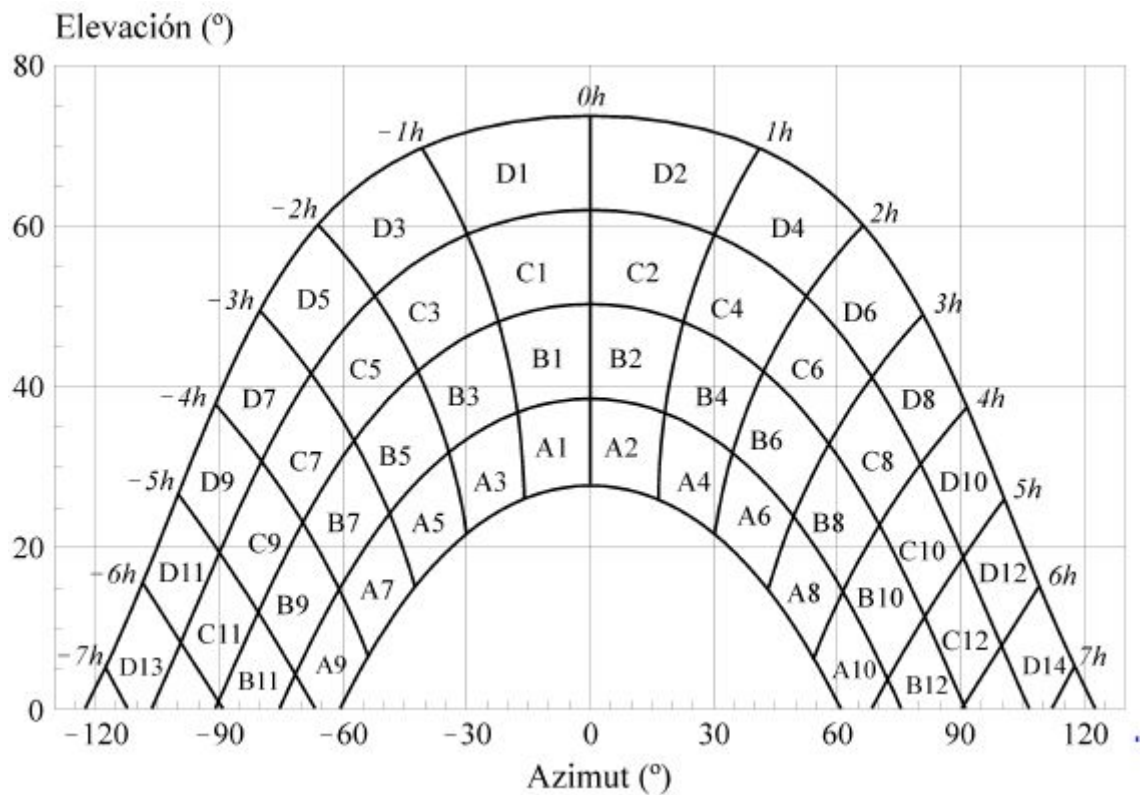


Figura 28: Àbac de la representació solar.

Pels angles característics de la nostra instal·lació, no hi ha cap taula que doni els coeficients per calcular les pèrdues.

En la figura 26 veiem com l'edifici d'arquitectura afecta en la trajectòria del Sol i provoca ombres sobre la façana. El poliedre de color vermell mostra l'edifici ETSAB en funció de la seva orientació i alçada respecte la façana Oest de l'ETSEIB. Basant-nos en les dades de les altres taules, les zones que afecta, poliedres en grocs, presenten uns coeficients molt baixos.

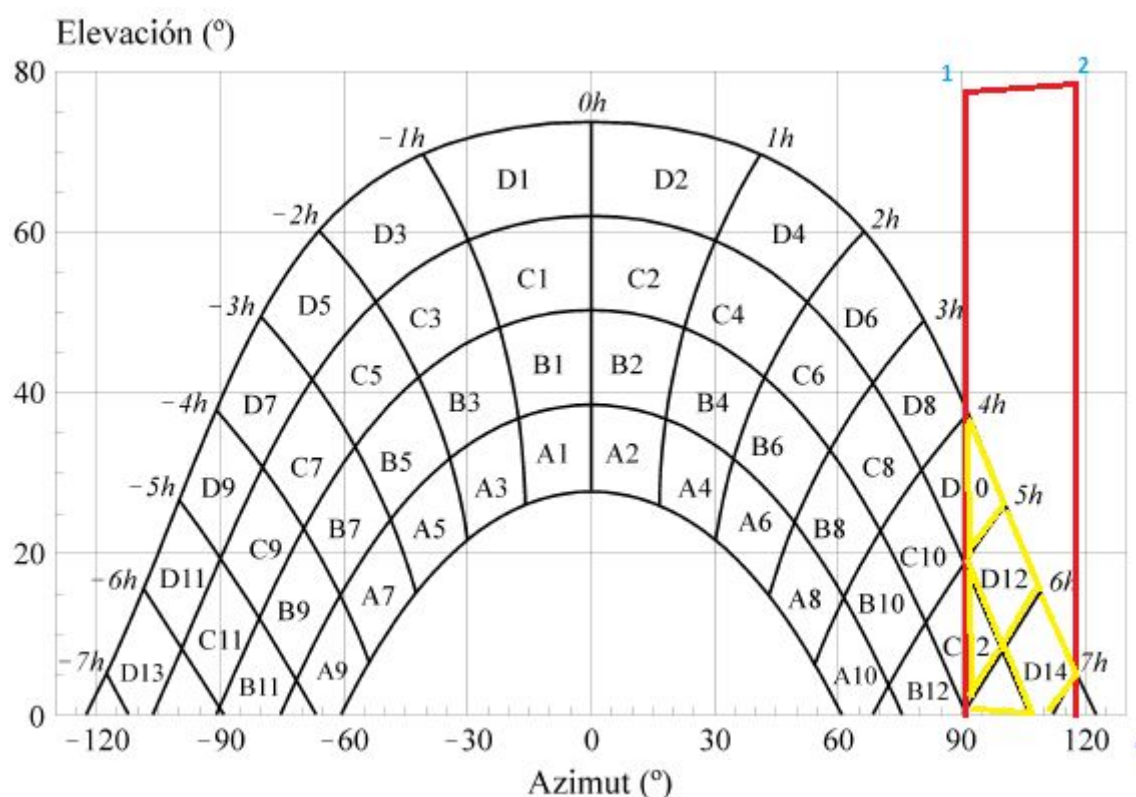


Figura 29: Representació de l'ombra ocasionada per l'Edifici ETSAB amb la trajectòria del Sol.

Per tal de saber el percentatge d'ombres obtingut a través del programa PVSite. El qual pronostica un 0,5% de pèrdues per ombra. Això és degut al fet que l'únic edifici que pot provocar ombres, a part de la mateixa ETSEIB, és l'edifici d'arquitectura, es troba a gran distància. A més a més, la seva alçada és menor a la de l'ETSEIB, pel que només afectaria la zona inferior de la façana.

Com a resum dels tres paràmetres trobem que la superfície ve determinada per la façana i, pel mateix motiu els angles d'orientació i inclinació. Aquest darrer paràmetre no compleix el Pliego de Condiciones, és el que la infraestructura ens permet implementar. Per últim, les pèrdues per ombres, un paràmetre que pot afectar greument al rendiment global de la instal·lació, és pràcticament nul.

7. Components de la instal·lació fotovoltaica

Es pot classificar el tipus d'instal·lació en funció de l'aplicació pel qual està destinada. Trobem les autònomes i les connectades a la xarxa elèctrica.

Les instal·lacions autònomes són aquelles que no estan connectades a la xarxa elèctrica emprades per a projectes de petita escala com pot ser l'enllumenat de senyals i fanals, el bombeig d'aigua, com a font d'energia per a joguines i el principal i únic mitjà de subministrament d'energia elèctrica en habitatges aïllats i/o amb difícil accés a la xarxa elèctrica.

Per altra banda les instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica injecten el corrent elèctric produït per les plaques fotovoltaïques a la xarxa. Ja ve sigui la totalitat del corrent generat o el sobrant que no ha consumit la mateixa instal·lació.

Avui dia, trobem cada cop més el que es comença a dir com a edificis fotovoltaics, infraestructures que substitueixen elements de l'edifici per plaques fotovoltaïques. Els nous dispositius que estan sortint al mercat presenten característiques prou bones per atribuir-se funcions tant d'infraestructura i estètica com de generadors d'energia elèctrica. La instal·lació fotovoltaica que es pretén dur a terme a la façana de l'edifici a priori no és suficient per donar abast al consum total, és per això que es manté la connexió a la xarxa elèctrica per cobrir aquesta falta d'energia. La instal·lació d'estudi estarà connectada a la xarxa elèctrica, per tant, els components que la integraran són els mòduls, inversors més tots els elements de protecció i connexions.

Després d'estudiar el mercat actual, veure quins són els dispositius emergents i, que estan donant millors resultats, els panells de capa fina són els més apropiats per a projectes d'integració arquitectònics. Els panells formen part de l'estructura de l'edifici, ja ve sigui directament com a estructura o com a recobriment, total o parcial.

Es pretén cobrir tota la superfície de la façana, per una banda les finestres i per altra la superfície opaca.

La integració arquitectònica escollida per al projecte, és el recobriment, on els mòduls fotovoltaics constitueixen part del recobriment de la construcció arquitectònica i, paral·lelament, la superposició, sistema de col·locar els mòduls en paral·lel al llarg de tota la façana de l'edifici, sense la doble funcionalitat, estructural i productor d'energia.

A continuació, es desenvoluparan els diferents components que formen part de la instal·lació, els quals estan sotmesos a complir el *Pliego de Condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red*, desenvolupat per l'*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*.

7.1. Plaques fotovoltaïques:

Com s'ha comentat en el punt 4.2 Món fotovoltaic, els PV són els dispositius encarregats de transformar l'energia solar en energia elèctrica per mitjà de l'efecte fotoelèctric. El corrent, la tensió i la potència generats variaran en funció de les característiques de la placa i les condicions sota les quals estigui treballant. Realitzant correctament les connexions entre les diferents plaques es pot aconseguir la potència desitjada. Tanmateix davant les limitacions de superfície la potència generada s'intenta sempre maximitzar en el màxim del possible.

En el *Pliego de Condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red* es decreta que els mòduls fotovoltaics hauran d'incorporar el marcatge CE, segon la Directiva 2006/95/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 12 de desembre de 2006, relativa a l'aproximació de les legislacions dels Estats membres sobre el material elèctric destinat a utilitzar-se amb determinats límits de tensió.

A més a més, haurà de complir la norma UNE-EN 61730, harmonitzada per la Directiva 2006/95/CE, sobre qualificació de la seguretat de mòduls fotovoltaics i, la norma UNE-EN 50380, sobre informacions de les fulles dades i de les plaques de característiques per als

mòduls fotovoltaics. Addicionalment, en funció de la tecnologia del mòdul, aquesta haurà de satisfer les següents normes:

- UNE-EN 61215: Mòduls fotovoltaics (FV) de silici cristal·lí per als terrestres. Qualificació del disseny i homologació.
- UNE-EN 61646: Mòduls fotovoltaics (FV) de capa fina per aplicacions terrestres. Qualificació del disseny i aprovació del tipus.

Els edificis que es troben integrats en l'edifici, a part que hi han de complir la normativa citada anteriorment, a més, han de complir amb la Directiva 89/106/CEE del Consell del 21 de desembre de 1988 relativa a l'aproximació de les disposicions legals, reglamentaries i administratives dels Estats membres sobre els productes de construcció. Els mòduls fotovoltaics que no puguin ser assajats segons les normes ja citades, hauran d'acreditar el compliment dels requisits mínims establerts en les mateixes per altres mitjans i, amb caràcter previ a la seva inspecció definitiva en el registre de règim especial depenent de l'òrgan competent.

Serà necessari justificar la impossibilitat d'assajar els mòduls, així com l'acreditació del compliment de requisits comentats, pel que haurà de ser comunicat per escrit a la Direcció General de Política Energètica i Mines, qui resoldre sobre la conformitat o no de la justificació i acreditació presentats.

- El mòdul fotovoltaic portarà de forma clarament visible el model i el nom o logotip del fabricant, així com una identificació individual o número de sèrie la data de fabricació.
- S'utilitzaran mòduls que s'ajustin a les següents característiques tècniques:
 - Els mòduls han de portar els díodes de derivació per evitar possibles avaries de les cèl·lules i els seus circuits per ombres parcials i, un grau de protecció mínim d'IP65.
 - Els marcs laterals, en cas d'haver-hi, seran d'alumini o acer inoxidable.
 - La potència màxima i el corrent de curtcircuit reals referenciades a condicions estàndards, hauran d'estar compresos en el marge de $\pm 3\%$ dels corresponents valors nominals del catàleg.
- Els mòduls han de ser els mateixos en tota la instal·lació o en cas contrari, garantir la seva total compatibilitat.

- Per motius de seguretat i facilitar el manteniment i reparació dels panells, s'instal·laran els elements necessaris com fusibles o interruptors, per la desconexió, de forma independent i, en ambdós terminals de cada una de les branques de la resta del panell.
- L'estructura dels panells es connectarà a terra.
- Els mòduls fotovoltaics estaran garantits pel fabricant durant un període mínim de 10 anys i, una garantia de rendiment durant 25 anys.

7.2. Inversor

L'inversor és el dispositiu encarregat de transformar el corrent continu generat per les plaques fotovoltaïques en corrent altern consumit per les càrregues connectades a la instal·lació.

Segons el *Pliego de Condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red* el principi de funcionament de l'inversor haurà de ser la font de corrent, amb un seguiment automàtic del punt de màxima potència generada per les plaques.

Ens permet convertir la tensió generada de 12, 24 o 48 V en continua als 230 V i 50 Hz de l'alterna. Trobem diferents inversors segons com estiguin fetes les connexions ja bé sigui per cada placa o per un conjunt. L'inversor central és aquell que recull la tensió de totes les plaques en únic punt i l'envia a la xarxa elèctrica. L'inversor en cadena, divideix la instal·lació en diferents mòduls, perquè si en algun lloc hi ha ombra, no es vegi perjudicat el rendiment global. Per tant, s'instal·len diferents inversors que transformen el corrent de cada conjunt de plaques, injectant posteriorment el corrent a la xarxa. Finalment trobem els dispositius que han sortit més recentment al mercat, els microinversors. Són uns dispositius que van connectats a cada placa transformant el corrent de forma individual i posteriorment injectant el corrent a la xarxa. El gran avantatge que presenten aquests tipus d'inversors és que el rendiment global és major, ja que si una placa presenta una eficiència menor, només aquell inversor aporta menys corrent i no afecta de manera global a la instal·lació. Per contra, al necessitar un dispositiu per placa, si la instal·lació és molt gran, suposarà un sobrecost considerable.

En el nostre cas, utilitzarem inversors en cadena agrupant les plaques per planta. Es considera la millor opció, ja que al no haver edificis propers que pugui ocasionar ombres ni altres obstacles, i encara que la radiació sigui aproximadament uniforme per tot l'edifici, el rendiment de totes les plaques de cada planta serà el mateix. Un únic inversor central podria suposar un problema en front de possibles avaries de plaques, afectant el rendiment de tota la instal·lació, en canvia al dividir-ho per plantes t'assegures que si falla una placa d'una planta, només afectarà el rendiment d'aquella planta i no al de tota la instal·lació.

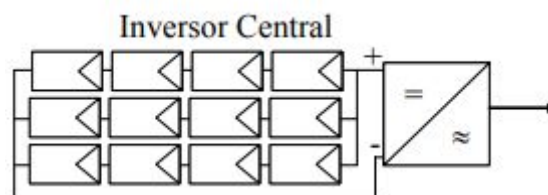


Figura 30: Instal·lació fotovoltaica amb un únic inversor central.

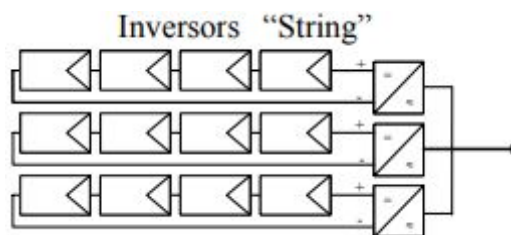


Figura 31: Instal·lació fotovoltaica amb tres inversors en cadena.

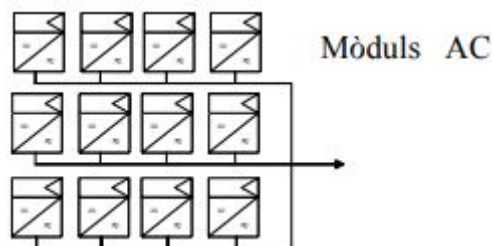


Figura 32: Instal·lació fotovoltaica amb un microinversors en cada panell.

Els inversors de la instal·lació hauran de complir amb les directives comunitàries de Seguretat Elèctrica i Compatibilitat Electromagnètica, incorporant proteccions davant dels següents riscos:

- Curtcircuits en alterna
- Tensió de la xarxa fora de rang
- Freqüència de la xarxa fora de rang
- Sobretensions
- Pertorbacions presents a la xarxa com microtalls, polosos, defectes de cicles, absència i retor de la xarxa

Adicionalment, han de complir amb la Directiva 2004/108/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 15 de desembre de 2004, relativa a l'aproximació de les legislacions dels Estats membres en matèria de compatibilitat electromagnètica.

Cada inversor disposarà de les senyalitzacions necessàries per a la seva correcta operació i, incorporarà els controls automàtics imprescindibles que assegurin la seva adequada supervisió i manipulació.

Cada inversor incorporarà, com a mínim, els següents controls manuals:

- Posada en marxa i apagat general de l'inversor
- Connexió i desconexió de l'inversor amb la interfície

L'inversor haurà de tenir les següents característiques elèctriques:

- L'inversor continuarà entregant potència a la xarxa de forma contínua en condicions d'irradiància solar un 10% superiors a les CEM. A més a més suportarà pics del 30% superiors a les CEM durant períodes de fins a 10 segons.
- El rendiment de potència de l'inversor (quocient entre la potència activa de sortida i la potència activa d'entrada), per una potència de sortida en corrent altern igual al 50 % i al 100 % de la potència nominal, serà com a mínim del 92% i del 94% respectivament. El càlcul del rendiment es realitzarà d'acord amb la norma UNE-EN 6168: Sistemes fotovoltaics. Condicionadors de potència. Procediment per la mesura del rendiment.
- L'autoconsum dels equips (pèrdues en Buit) en stand-by o mode nocturn haurà de ser inferior al 2% de la seva potència nominal de sortida.
- El factor de potència de la potència generada haurà de ser superior a 0,95 entre el 25% i el 100% de la potència nominal.

- A partir de potències superiors al 10% de la seva potència nominal, l'inversor injectarà a la xarxa.

Els inversors tindran un grau de protecció mínima IP20 per a inversors en l'interior d'edificis i llocs inaccessibles, IP30 per a inversors en l'interior d'edificis i llocs accessibles i, d'IP65 per a inversors instal·lats a l'intempèrie. En qualsevol cas, es complirà la llei vigent.

Els inversors estaran garantits per operacions en les següents condicions ambientals:

- Entre 0 °C i 40 °C de temperatura.
- Entre 0% i 85% d'humitat relativa.

Els inversors tindran una garantia del fabricant per un període com a mínim de tres anys.

7.3. Regulador de càrrega

El regulador és un dispositiu instal·lat entre el mòdul fotovoltaic i les bateries o acumuladors d'energia. El seu objectiu principal és evitar la sobre càrrega i sobre descàrrega de les bateries per tal d'aconseguir la càrrega total de les bateries així com allargar la seva vida útil.

Durant el dia l'energia obtinguda és utilitzada per al consum dels dispositius connectats a la instal·lació i, carregar les bateries. En canvi, a la nit com que no es disposa de recurs energètic i no es genera electricitat, únicament els dispositius connectats a les bateries obtenen l'energia d'aquestes.

És un element indispensable per garantir el bon funcionament de les bateries i el de la instal·lació en general. Amb l'objectiu de carregar les bateries totalment, davant d'un accés de corrent generat per les plaques, el regulador obre el circuit per tal d'evitar una sobrecàrrega de les bateries. Si les bateries es troben per sota de cert valor, el regulador desconnecta el circuit de les càrregues amb l'objectiu de no arribar a la descàrrega total de les bateries.

Trobem dos tipus de reguladors:

- PWM (modulació per ample de pols) de casuística simple, ja que actua com a un interruptor entre les plaques i les càrregues. Presenta pèrdues prou grans al aportar una tensió fixa.
- MPPT (seguidor del punt de màxima potència), ja que busca treballar amb la potència adequada en cada moment, ja ve sigui en la càrrega com la descàrrega de les bateries o consum directe de les càrregues, per tal de treure el màxim rendiment a les plaques. És el més adequat per instal·lacions complexes i amb grans distàncies entre panells i bateries.

En la nostra instal·lació no disposarem de reguladors de carga, ja que no disposarem de bateries o acumuladors d'energia. L'electricitat produïda anirà injectada directament a la xarxa de l'edifici.

7.4. Bateries o acumuladors d'energia

Les bateries o acumuladors d'energia són els dispositius encarregats d'emmagatzemar l'energia produïda per les plaques fotovoltaïques i que totes les càrregues connectades a la instal·lació consumiran. Prenen especial importància quan les plaques fotovoltaïques no generen energia, durant les hores on no hi ha Sol, i les càrregues continuen consumint. Permeten l'ús continu dels dispositius connectats a la instal·lació a qualsevol hora.

La nostra instal·lació de plaques fotovoltaïques no cobreix la demanda total de l'energia que consumirà l'edifici. És per això que també s'està connectat a la xarxa elèctrica per tal de garantir que l'edifici pugui disposar de tota l'energia necessària per al seu funcionament diari. A l'injectar tota l'energia produïda per les plaques a les càrregues directament, i saber que no hi haurà excedent, es decideix no instal·lar bateries, aconseguint una reducció en el cost de la instal·lació, tant de la primera instal·lació com dels manteniments que se'ls hi hauria d'anar fent als diferents dispositius.

7.5. Cablejat

El cablejat ha de complir els següents requisits, recollits en el *Pliego de Condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red*.

Els cables positius i negatius de cada conjunt de mòduls es conduiran separats i protegits d'acord amb la normativa vigent.

Els conductors seran de coure i tindran la secció adequada per evitar caigudes de tensió y escalfaments. Concretament, per qualsevol condició de treball, els conductors hauran de tenir la secció suficient perquè la caiguda de tensió sigui inferior l'1,5%.

El cablejat haurà de tenir la longitud necessària per no generar esforços als diferents elements ni la possibilitat d'enganxar-se amb algun element extern.

Tot el cablejat de contínua serà de doble aïllament i adequat per a l'ús en la intempèrie, a l'aire o enterrat, d'acord amb la norma UNE 21123, Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV.

7.6. Estructura de suport

Les estructures de suport hauran de complir amb les especificacions citades a continuació i, en tots els casos es complirà segons el *Código Técnico de la Edificación* respecte a seguretat. [7]

L'estructura de suport dels mòduls ha de resistir, amb els mòduls instal·lats, les sobrecàrregues de vent i neu.

El disseny i la construcció de l'estructura i el sistema de fixació dels mòduls, permetrà les necessàries dilatacions tèrmiques, sense transmetre càrregues que puguin afectar a la integritat dels mòduls, seguint les indicacions del fabricant.

Els punts de suport per al mòdul fotovoltaic serà suficient en número, tenint en compte l'àrea de suport i posició relativa, de manera que no es produeixin flexions en els mòduls superiors a les permeses pel fabricant i els mètodes homologats pel model del mòdul.

El disseny de l'estructura es realitzarà per l'orientació i l'angle d'inclinació especificats pel panell fotovoltaic, tenint en compte la facilitat de muntatge i desmuntatge i, la possibilitat de necessitar substitucions d'elements.

L'estructura estarà protegida superficialment contra l'acció d'agents ambientals. La realització de perforaments en l'estructura és durant a terme abans de realitzar, en el cas que faci falta, la galvanització o la protecció de l'estructura.

Els caragols serà d'acer inoxidable. En el cas que l'estructura sigui galvanitzada, seran permesos caragols galvanitzats, exceptuant la subjecció dels mòduls a la mateixa estructura, que seran d'acer inoxidable.

Els topalls de subjecció dels mòduls i la mateixa estructura no provocaran ombra sobre els mòduls.

Les estructures de suport seran calculades segons la normativa vigent per suportar càrregues extremes degudes a factors climatològics adversos, tals com vent, neu, etc.

Si l'estructura està construïda amb perfils d'acer laminat conformat en fred, complirà les normes UNE-EN 10219-1 i UNE-EN 10219-2 per garantir totes les característiques mecàniques i de composició química.

Si es de tipus galvanitzada en calent, complirà les normes UNE-EN ISO 14713 (parts 1, 2 y 3) i UNE-EN ISO 10684 i els espessors compliran amb els mínims exigibles en la norma UNE-EN ISO 1461.

7.7. Proteccions

Les proteccions són elements indispensables per garantir el correcte funcionament de la instal·lació i prevenir qualsevol desastre en ella, ja ve siguin sobretensions, sobreintensitats o altres imprevistos que es puguin ocasionar.

Com descriu l'*Institut Català de l'Energia* i, segons la *Guía Técnica de aplicación al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* [6], en una instal·lació fotovoltaica

connectada a la xarxa elèctrica, s'han de tenir en consideració i, formar part d'ella, les següents proteccions.

- Proteccions contra sobreintensitats en forma de sobrecàrregues.
- Proteccions contra sobreintensitats a causa de curtcircuits
- Proteccions contra sobretensions
- Proteccions contra contactes directes
- Proteccions contra contactes indirectes

Diferenciarem les proteccions per la part de contínua i la part d'alterna, ja que cadascuna anirà en zones diferents de la instal·lació.

7.7.1 Proteccions zona de continua

- **Proteccions contra sobretensions:** L'element encarregat per evitar que la instal·lació es vegi afectada per sobretensions és el varistor. Aquest haurà de ser instal·lat en cada línia de la instal·lació i, un altre en sèrie amb l'anterior, a l'entrada de cada equip. Aquest element ha de complir la ITC-BT 20.

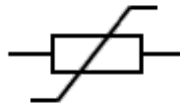


Figura 33: Símbol elèctric del varistor.

- **Proteccions contra sobreintensitats per sobrecàrregues i curtcircuits:** El fusible evitarà que la línia elèctrica pateixi sobreintensitats, curtcircuits o descàrregues elèctriques atmosfèriques, encara que la intensitat de curtcircuit dels panells no sigui gaire elevada. S'instal·larà un fusible per cada conductor tant de càrrega positiva com negativa sortint de les branques de panells cap als inversors. Els fusibles han d'estar dimensionats segons l'ITC-BT 22.
Per a interruptors tipus gG per a proteccions de sobrecàrregues les característiques de funcionament ha de complir:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \text{ on,} \quad \text{Fórmula 16.}$$

I_B : Intensitat del conductor

I_N : Intensitat assignada a l'interruptor

I_Z : Intensitat màxima admissible pel conductor

$$1,90 * I_N \leq 1,45 * I_Z \quad \text{Fórmula 17.}$$



Figura 34: Símbol elèctric del fusible.

- **Seguidor del nivell d'aïllament.** Per aquest tipus d'instal·lacions en les quals es treballa amb tensions força elevades, cal disposar d'un element que controli constantment l'aïllament elèctric dels conductors elèctrics. En cas que d'arribar a nivells alarmants, el sistema es desconnectaria l'inversor per reduir la tensió a zero amb la finalitat d'evitar avaries en la instal·lació. Fins que els nivells d'aïllaments no tornen a estar dins els valors establerts no es connectarà de nou el sistema.

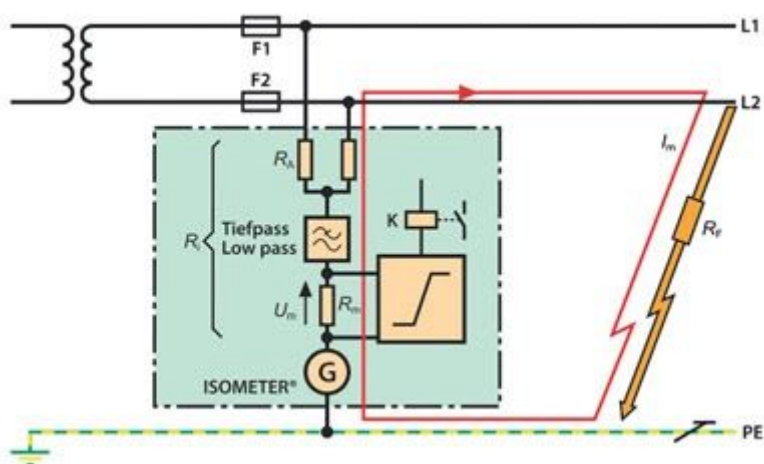


Figura 35: Vigilant d'aïllament en els conductors

7.7.2. Proteccions zona d'alterna

- **Proteccions contra sobrecàrregues i curtcircuit.** Quan els inversors no disposen elements de proteccions contra sobrecàrregues i curtcircuits, cal instal·lar un interruptor automàtic de tall a la sortida d'alterna, altrament conegut com a magnetotèrmic. Aquest dispositiu permet manipular els equips de manera segura durant operacions de manteniment evitant així el flux d'electricitat. El seu dimensionat serà segon l'ITC-BT 22.



Figura 36: Símbol elèctric del magnetotèrmic.

- **Protecció contra contactes indirectes.** L'interruptor automàtic diferencial és l'encarregat de detectar corrents derivats a terra per defectes en l'aïllament. En conseqüència, desconnecta el circuit per evitar contactes indirectes de persones. En l'ITC-BT 24 es detalla la seva funcionalitat i la seva correcta instal·lació.

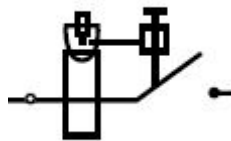


Figura 37: Símbol elèctric de l'interruptor automàtic diferencial.

- **Limitador de potència.** L'interruptor de control de potència (ICP) limita la potència injectada a la xarxa elèctrica un valor màxim del 130% de la potència nominal de la instal·lació. A més a més, té la funció de detectar fallades i, desconnectar la instal·lació. Per tant, el seu poder de tall (PdC) haurà de ser superior a la potència de curtcircuit de la línia en el punt de connexió, determinat per la companyia distribuïdora.



Figura 38: Símbol elèctric de l'interruptor de control de potència.

- **Protecció general de la instal·lació.** Quan una de les proteccions d'alguna de les línies no actua bé, pel motiu que sigui, o s'ha produït un curtcircuit accidentalment, el fusible de protecció general desconnecta la instal·lació. El seu poder de tall serà superior al valor de potència de curtcircuit i, ve determinat per la companyia distribuïdora.



Figura 39: Símbol elèctric del fusible general de la instal·lació.

7.8. Posada a terra

Segons la *GUÍA-BT-18. Protecciones. Instalaciones de puest a tierra*, és de caràcter obligatori per qualsevol instal·lació la posada a terra com a mesura de protecció, tant de la mateixa instal·lació com dels diferents elements del seu voltant.

La posada a terra és la unió elèctrica directa, és a dir, sense l'ús de fusibles ni cap altre tipus de protecció, d'una part del circuit elèctric o part conductora a una presa de terra amb un elèctrode o grup d'elèctrodes enterrats a terra. El fi d'aquesta mesura de protecció és evitar l'aparició de diferències de potencial perilloses a instal·lacions, edificis o superfícies properes. A més a més permetre el pas a terra de corrents de defecte o descàrregues d'origen atmosfèric.

La selecció dels elements que formaran part de la posada a terra han d'estar

subjectes a:

- El valor de la resistència de posada a terra ha d'estar conforme a les normes de protecció i funcionament de la instal·lació i, es mantingui d'aquesta manera al llarg del temps. Els requisits generals es recullen el la ITC-BT 24.
- Els corrents de defectes a terra i corrents de fuga han de poder circular sense perill.
- La solidesa o protecció mecànica ha de quedar assegurada amb independència de possibles condicions externes.
- S'ha de contemplar els possibles riscos a cause de l'electròlisi que pugui afectar a altres parts metàl·liques.

Hi ha diferents elements que es poden usar per a conformar els elèctrodes, com poden ser: barres, tubs, platines, conductors nus, plaques, anells o malles metàl·liques, armadures de formigó enterrades, entre d'altres.

Tipo de electrodo		Dimensión mínima
Picas	<i>barras</i>	$\varnothing \geq 14,2 \text{ mm}$ (acero-cobre 250 μ) $\varnothing \geq 20 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
	<i>perfiles</i>	Espesor $\geq 5 \text{ mm}$ y Sección $\geq 350 \text{ mm}^2$
	<i>tubos</i>	$\varnothing_{ext} \geq 30 \text{ mm}$ y Espesor $\geq 3 \text{ mm}$
Placas	<i>rectangular</i>	1 m x 0,5 m Espesor $\geq 2 \text{ mm}$ (cobre); Espesor $\geq 3 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
	<i>cuadrada</i>	1 m x 1 m Espesor $\geq 2 \text{ mm}$ (cobre); Espesor $\geq 3 \text{ mm}$ (acero galvanizado 78 μ)
Conductor desnudo		35 mm ² (cobre)

Figura 40: Dimensions mínimes dels diferents elèctrodes de posada a terra.

La profunditat a la qual s'enterren els elements, no serà mai inferior a 0,5 m. Haurà de ser la suficient perquè en cas d'humitat en el terra, la presència de gel o altres efectes climatològics, no augmentin la resistència de la posada a terra per sobre del valor previst. No podent ser superior a 24 V en local o en zones externes a la instal·lació eu puguin crear potencial i, 50 V en els altres casos.

En la posada a terra ha d'haver-hi el born principal de terra al qual se li uneixen els conductors de terra, de protecció, d'unió equipotencial principal i, en cas que fóra necessari, els conductors de posada a terra funcional.

El darrer element és el conductor o conductors de protecció, els quals serveixen per unir elèctricament les masses de la instal·lació a certs elements amb la finalitat d'assegurar la protecció contra contactes indirectes. La secció mínima dels conductors de protecció es determina en funció de la secció dels conductors de fase. Els conductors que es poden emprar per a protecció poden ser: cables multiconductors o aïllats o nus que presenten un envoltant comú amb els conductors actius.

8. Dimensionat de la instal·lació fotovoltaica

A l'hora de posar-nos a triar com dimensionar la instal·lació, primer de tot es va pensar en els panells solars que millor encaixessin en la superfície d'estudi. S'havia de jugar amb la disponibilitat al mercat i les dimensions que disposàvem.

En el mercat trobem gran varietat de plaques, classificades pel material, les dimensions, el % de transparència, el gruix de la placa, etc. Aquesta diversitat ens permet presentar tres alternatives d'instal·lació, en funció de les plaques triades en la superfície opaca, ja que la superfície transparent corresponent a les finestres, serà coberta pel mateix panell. Un cop dins de cada alternativa, les subdividirem en dues alternatives més, segons la seva organització.

8.1 Panells

Destacar que tots els panells utilitzats són de l'empresa ONYX Solar Energy, SL. Empresa espanyola líder en el sector fotovoltaic i en especial el vidre fotovoltaic amb panells de gran transparència.

8.1.1. Finestra

Com ja s'ha comentat, la instal·lació solar és la mateixa per totes les alternatives. Dels diferents vidres solars que disposa ONYX, s'ha agafat dels de capa fina, aquell que encaixava millor en les dimensions de la finestra. La finestra, juntament amb el marc fan 2030 mm d'alçada i 1420 mm de llargada, sent la seva superfície de 2,88 m².

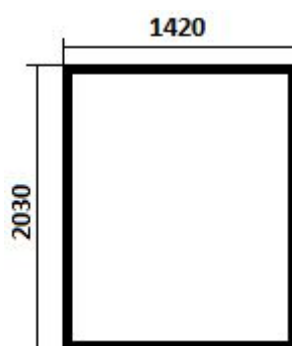


Figura 41: Finestra de la façana Oest de l'edifici ETSEIB

El vidre escollit presenta 1849 mm d'alçada i 1245 mm de llargada, pel que la superfície total és de 2,3 m². En l'espai restant, hi haurà tot el mecanisme que s'encarrega d'obrir i tancar la finestra. A més a més, d'espai suficient per poder manipular en cas de reparació.

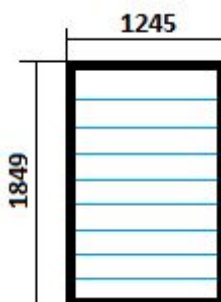


Figura 42: Vidre solar amb transparència del 30%.

L'aprofitament amb aquests vidres en cada finestra és del 79,86%.

Si tenim en compte que en cada planta hi ha 36 finestres, 4 en cadascun dels 9 blocs, es disposen de 1036,8 m² de finestra. Instal·lant un vidre solar per finestra, quedarien coberts 828,0 m², el que suposa un aprofitament del 79,86% de la superfície disponible.

El vidre es col·loca al centre de la finestra, deixant 87,5 mm de marge als laterals i, 90,5 mm a la part inferior i superior.

Per tant, s'instal·laran 360 vidres solars en les 360 finestres de la zona d'estudi, aprofitant gairebé un 80% de la superfície.

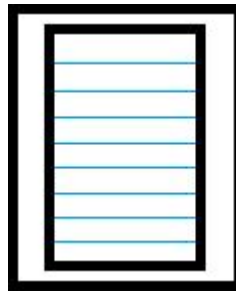


Figura 43: Instal·lació del vidre solar sobre la finestra de la façana.

Pel que respecta a la finestra, les plaques de vidre transparent que millor s'adaptin a les mesures són les de 1849 x 1245 mm deixant una superfície de 0,578 m², el vidre solar tipus A.



Figura 44: Percentatge de transparència dels vidres solar d'ONYX.

8.1.2. Superfície opaca

La part opaca de la façana pot ser recoberta per plaques transparents o policristal·lines. Els panells que encaixen amb les dimensions de la superfície opaca són:

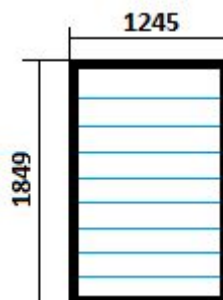


Figura 45: Vidre solar de capa fina. Tipus A.

- **Vidre solar (a-Si) de 1849x1245 mm → Tipus A**

El panell tipus A presenta els següents paràmetres de funcionament, recollits en la taula 6:

Visió de transparència	70	%
Potència de pic nominal P _{mpp}	64	Wp
Tensió circuit obert V _{oc}	144	V
Corrent de curtcircuit I _{sc}	0,77	A
Tensió a la potència nominal V _{mpp}	99	V
Corrent a la potència nominal I _{mpp}	0,65	A
Tolerància no excedent de potència	.+-5	
Protecció	IP65	
Secció del cable	2,5 /4,0	mm ²
Voltatge màxim del sistema V _{sys}	1000	V
Temperatura de treball del panell	.-40 / +85	°C
Coeficient de temperatura del P _{mpp}	-0,19	%/°C
Coeficient de temperatura del V _{oc}	-0,28	%/°C
Coeficient de temperatura del I _{sc}	.+0,09	%/°C

Taula 6: Paràmetres característics del panell solar de silici amorf tipus A.

- **Panell policristal·lí de 1700x1000 mm → Tipus B**

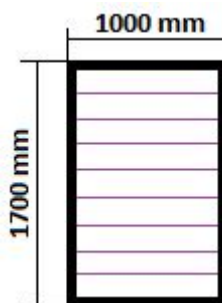


Figura 46: Panell fotovoltaic policristal·lí. Tipus B.

El panell fotovoltaic policristal·lí tipus B, presenta els següents paràmetres característics, recollits en la taula 7:

Visió de transparència	0	%
Potència de pic nominal P _{mpp}	241	Wp
Tensió circuit obert V _{oc}	37	V
Corrent de curtcircuit I _{sc}	8,45	A
Tensió a la potència nominal V _{mpp}	30	V
Corrent a la potència nominal I _{mpp}	7,93	A
Tolerància no excedent de potència	.+-10	
Protecció	IP65	
Secció del cable	2,5 /4,0	mm ²
Voltatge màxim del sistema V _{sys}	1000	V
Temperatura de treball del panell	.-40 / +85	°C

Coeficient de temperatura del P_{mmp}	-0,451	%/°C
Coeficient de temperatura del V_{oc}	-0,361	%/°C
Coeficient de temperatura del I_{sc}	+0,08	%/°C

Taula 7: Paràmetres característics del panell fotovoltaic policristal·lí tipus B.

- **Panell policristal·lí de 850x1650 mm → Tipus C**

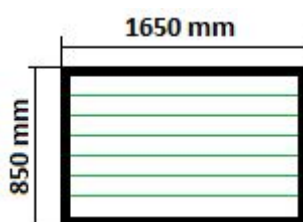


Figura 47: Panell fotovoltaic policristal·lí. Tipus C.

El panell fotovoltaic policristal·lí tipus C presenta els següents paràmetres característics, recollida en la taula 8:

Visió de transparència	0	%
Potència de pic nominal P_{mpp}	145	Wp
Tensió circuit obert V_{oc}	22	V
Corrent de curtcircuit I_{sc}	8,45	A
Tensió a la potència nominal V_{mpp}	18	V
Corrent a la potència nominal I_{mpp}	7,93	A

Tolerància no excedent de potència	.+-10	
Protecció	IP65	
Secció del cable	2,5 /4,0	mm ²
Voltatge màxim del sistema Vsys	1000	V
Temperatura de treball del panell	.-40 / +85	°C
Coeficient de temperatura del Pmp	-0,451	%/°C
Coeficient de temperatura del Voc	-0,361	%/°C
Coeficient de temperatura del Isc	.+0,08	%/°C

Taula 8: Paràmetres característics del panell fotovoltaic policristal·lí tipus C.

8.2. Distribució dels panells en la superfície opaca

L'organització dels panells en la superfície opaca s'estudiarà de dues maneres diferents:

- El primer d'ells respectarà els blocs que hi ha a les plantes, cada bloc representa una aula i està formada per 4 finestres i una part inferior de paret de 5680 x 2030 mm. A cada planta hi ha 9 blocs, els separadors de blocs són les bigues que donen estructura i rigidesa a l'edifici.

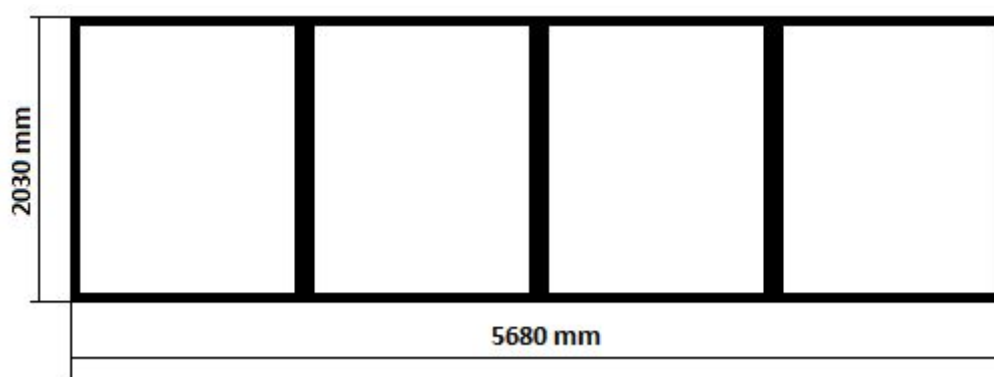


Figura 48: Dimensions dels blocs que hi ha en cada planta de l'edifici.

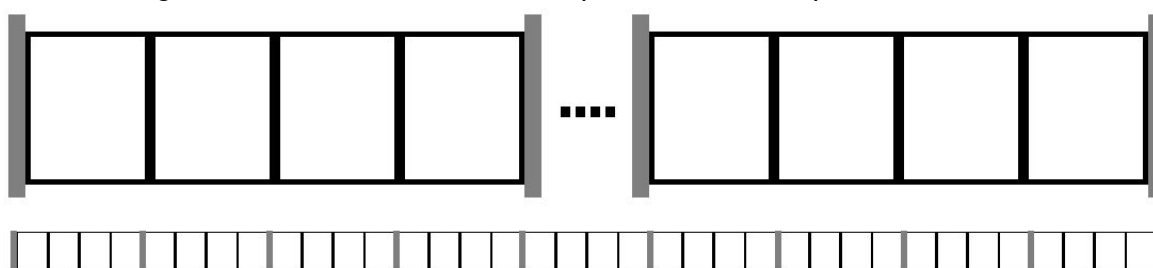


Figura 49: Distribució dels 9 blocs en una planta de l'edifici.

- El segon sistema no tindrà en compte les bigues i s'agafarà tota la llargada de la planta disponible, per així disposar de més superfície útil. Els metres quadrats de superfície disponibles per instal·lar les plaques són 1037,7 m² (51120 x 2030 mm).

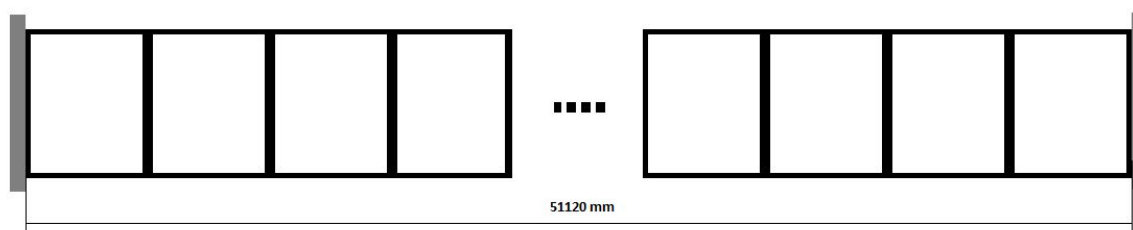


Figura 50: Distribució de la façana d'una planta de l'edifici.

8.3. Estudi de les alternatives

Per tant, les diferents alternatives queden de la següent manera:

Alternativa	Finestra (a-Si) mm	Paret mm	Blocs
-------------	--------------------	----------	-------

A-1	1849x1245	1849x1245 (a-Si)	Si
A-2	1849x1245	1849x1245 (a-Si)	No
B-1	1849x1245	1700x1000 (policristal·lí)	Si
B-2	1849x1245	1700x1000 (policristal·lí)	No
C-1	1849x1245	850x1650 (policristal·lí) en dues fileres en paral·lel	Si
C-2	1849x1245	850x1650 (policristal·lí) en dues fileres en paral·lel	No

Taula 9: Classificació de les alternatives en funció dels panells fotovoltaics i la distribució al llarg de les plantes de l'edifici.

Per cada alternativa s'ha realitzat el seu dimensionat, tenint en compte els panells fotovoltaics, la seva disposició en la superfície, els inversors més adequats i, el cablejat oportú.

L'estructura de totes les instal·lacions en les diferents alternatives és la representada en la figura 31:

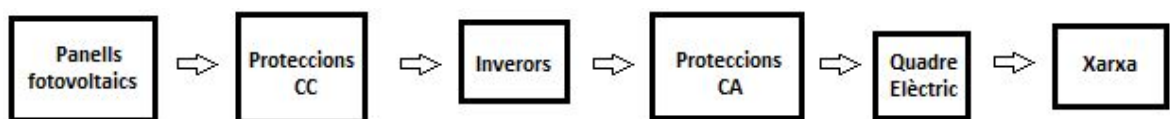


Figura 51: Components que componen la instal·lació de cada una de les alternatives.

8.3.1 Alternativa A-1

Panells

La primera alternativa, utilitza també, el vidre solar de capa fina per a la part opaca. Tot i que aquí no interessa o, més ben dit no genera cap benefici que es deixi passar la llum, es planteja l'opció d'instal·lar aquests panells.

Per a l'estudi d'aquesta alternativa, es té en compte i, es respecten els blocs de cada planta. La superfície de cada bloc és de $11,53 \text{ m}^2$ ($5680 \times 2030 \text{ mm}$), això ens permet instal·lar 4 panells tipus A per cada bloc. La llargada total dels 4 panells és de 4980 mm , per tant, sobren 700 mm els quals es distribuïran de la següent manera: es deixarà 175 mm entre plaques i $87,5 \text{ mm}$ als extrems laterals. L'alçada de les plaques és de 1849 mm i l'alçada disponible és de 2030 , deixant 181 mm sense placa. Es deixarà $90,5$ tant per la part superior com per la inferior.

La disposició dels panells serà simètrica en l'interior del bloc, repetint-se així al llarg dels blocs de la planta. Es respectaran els requadres interiors que hi ha en cada bloc. S'instal·larà un total de 360 panells, 36 per planta. La superfície disponible, de la mateixa manera que en les finestres, és de $1036,8 \text{ m}^2$ i, la total utilitzada pels panells és de $828,0 \text{ m}^2$. Per tant l'aprofitament és del $79,86\%$.

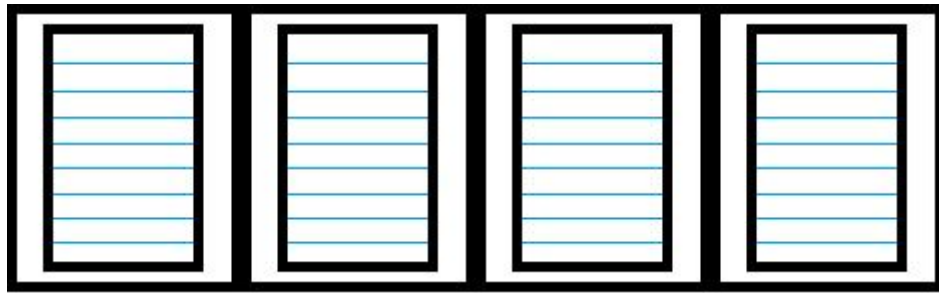


Figura 52: Instal·lació dels panells tipus A en l'interior dels requadres dels blocs.

Potència generada

Primerament, es calcula la potència produïda pels vidres solars en les finestres. Aquest càlcul servirà per a totes les altres alternatives.

Per calcular la potència generada s'ha de tenir en compte les connexions dels panells. En aquest cas, es connecten tots els panells de cada planta en sèrie i, cada planta en paral·lel. Per tant, hi ha 36 panells en sèrie en cada branca i, 10 branques en paral·lel.

$$V_{total} = n^{\circ} \text{ panells en sèrie} * V_{panell} = 36 * 99 = 3564 \text{ V}$$

Fórmula 18.

$$I_{total} = n^{\circ} \text{ panells en paral·lel} * I_{panell} = 10 * 0,65 = 6,5 \text{ A}$$

Fórmula 19.

$$P_{total} = I_{total} * V_{total} = 3564 * 6,5 = 23.166 \text{ W} = 23,17 \text{ kW}$$

Fórmula 20.

Com que la disposició dels panells en la superfície opaca és la mateixa que la de les finestres, la potència obtinguda pels panells policristal·lins és de 23,17 kW. Per tant, la potència total de l'alternativa A-1 és de **46,33 kW**.

Inversors

La tensió total, obtinguda en connectar els 36 panells en sèrie, és de 3564 V. És una tensió molt elevada, pel que trobar inversors capaços de tenir tal input és molt difícil. Per tant, ens veiem obligats a separar diverses parts els panells connectats en sèrie per tal d'obtenir una tensió d'entrada a l'inversor adient.

Es decideix agrupa de sis en sis els panells en sèrie en cadascuna de les branques, mantenint les 10 branques en paral·lel. Amb aquesta distribució la tensió obtinguda en cada branca és de 594 V, la intensitat de 6,5 A i, una potència total de 3.861 kW.

L'inversor que millor s'adapta als paràmetres d'entrada és el StecaGrid4611_2. En la taula 10 es recullen els rangs i valors màxims admissibles dels principals valors d'entrada.

Rang de Tensions de treball (V)	Intensitat màxima (A)	Potència màxima (W)
150 - 600	13	4.740

Taula 10: Valors màxims dels paràmetres d'entrada a l'inversor StecaGrid4611_2.

Per tant, fan falta sis inversors per les finestres i altres sis per la superfície opaca. El total d'inversors en aquesta alternativa és de **12**, tots ells del model StecaGrid4611_2.

Secció dels conductors de contínua

El cablejat de contínua és el més important, ja que serà el de major longitud. Aquest recorrerà tota la façana passant pels panells solars fins als inversors. Pel que respecta al cablejat d'alterna serà aproximadament d'1 o pocs metres pel que no es realitzarà el seu estudi, però si es tenen en compte com a elements de la instal·lació.

Tots els cables són de coure, així com ho obliga el *Pliego de Condiciones para Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a la Red*.

El cablejat escollit és el TOPSOLAR PV DUAL H1Z2Z2-K, aquest serà l'aplicat a la zona de contínua entre els panells i els inversors, en totes les alternatives per igual. Apte per a instal·lacions fotovoltaïques presentant plena garantia al ser instal·lat a l'intempèrie.

El cable H1Z2Z2-K presenta la següent estructura:

1. El conductor és de coure electrolític d'estany, classe 5 (flexible) segons UNE-EN 60228 i IEC 60228.
2. L'aïllament que porta és de goma lliure d'halògens (tipus XLEVA segons UL i tipus EI6 segons TÜV).
3. El recobriment també de goma lliure d'halògens (tipus XLEVA segons UL i tipus EM8 segons TÜV) de color negre.

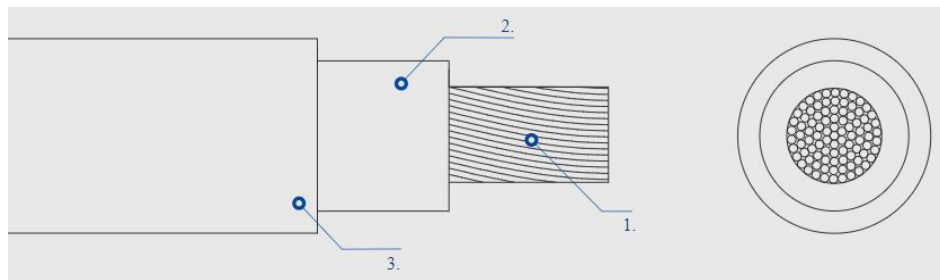


Figura 53: Estructura del cable TOPSOLAR PV DUAL H1Z2Z2-K

Un cop escollit el conductor, cal saber quina és la secció mínima que ha de presentar, per a treballar de manera òptima i sense generar pèrdues significatives.

Hi ha diferents maneres de calcular la secció mínima dels conductors de contínua de la instal·lació.

El primer **criteri** és per **caiguda de tensió**, on s'utilitza l'equació XX.

$$S_{\text{mínima}} = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\sigma \cdot V \cdot \Delta V} \text{ on, } \text{Fórmula 21.}$$

L: Longitud del cable.

I: Intensitat que haurà de suportar el cable.

σ : Conductivitat del cable.

V: Tensió dels panells.

ΔV : caiguda de tensió, determinat en el Pliego de Condiciones.

Els cables que van dels panells als inversors mesuren 8,53 m, ja que la longitud total de la superfície, que és de 51,16 m s'ha dividit en 6.

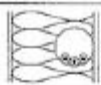







Pel que respecta a la conductivitat elèctrica dels cables de coure, hi ha per a diferents temperatures. L'escollida és a 90°C, per tal d'assegurar l'òptim funcionament tot i que les temperatures siguin elevades. A aquesta temperatura, el seu valor és $90 \Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$.

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm^2)
8,53	6,5	90	594	0,015	0,14

Taula 11: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Finestres i superfície opaca. Alternativa A-1

La primera secció superior és la d'1,5 mm², per tant, aquesta serà la secció dels cables segons el criteri de caiguda de tensió.

El següent mètode de càlcul de la secció mínima és pel **criteri d'intensitat màxima admissible**. Aquesta es determina per mitjà de la taula 12. Les nostres instal·lacions són de tipus B, Conductors aïllats amb tubs en muntatges superficials. Els cables presenten aïllament XLPE i, amb un màxim de dos conductors per l'interior de cada tub. Per tant, ens hem de fixar amb la columna 9. La intensitat de la nostra instal·lació és 6,5 A, per tant, observant la taula, la intensitat màxima admissible pel primer nivell de secció d'**1,5 mm²**, és 21. Aquesta secció és més que suficient per cobrir aquest requisit.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
B		Conductores aislados en tubos ¹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
E		Cables multiconductores al aire libre ⁴⁾ Distancia a la pared no inferior a 0,3D ⁵⁾						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁶⁾ Distancia a la pared no inferior a D ⁷⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ⁸⁾			
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁹⁾								3x PVC ¹⁰⁾		3x XLPE o EPR		
Cobre			mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
			2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
			4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
			6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
			10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
			16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	103	-
			25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
			35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
			50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
			70				149	160	171	188	202	224	244	321
			95				180	191	207	230	245	271	296	391
			120				208	225	240	267	284	314	348	455
			150				236	260	278	310	338	363	404	525
			185				268	297	317	354	386	415	464	601
			240				315	350	374	419	455	490	552	711
			300				360	404	423	484	524	565	640	821

Taula 12: Intensitats màximes admissibles per conductors de coure. [24]

El darrer **criteri** és el de **corrent de curtcircuit**. En aquest criteri, s'analitza la temperatura de treball del cable en casos que es produeix un curtcircuit, segons la fórmula 22. En el cas d'1,5 mm² i, tipus B amb aïllament XLPE segons la taula 12.

$$T = T_o + (T_{max} - T_o) * \frac{I_{cc}}{I_{max}} \quad \text{Fórmula 22.}$$

T : Temperatura de treball del conductor

T_o : Temperatura ambient del conductor

T_{max} : Temperatura màxima admissible pel conductor

I_{cc} : Intensitat de curtcircuit que suporta el conductor

I_{max} : Intensitat màxima que pot suportar el conductor en funció del seu aïllament.

T_o (°C)	T_{max} (°C)	I_{cc} (A)	I_{max} (A)	T (°C)
------------	----------------	--------------	---------------	----------

20	90	6,5	21	41,67
----	----	-----	----	-------

Taula 13: Càlcul de la temperatura del conductor d'1,5 mm² de secció.

La temperatura de treball del conductor d'1,5 mm², està dins el rang de temperatures del conductor escollit.

Tubs per a la canalització i protecció dels conductors

Un cop triada la secció dels conductors, es pot escollir el diàmetre del tub que s'utilitzarà per aïllar els conductors a la intempèrie. S'utilitza la taula 14 on apareixen els diàmetres exteriors mínims dels tubs en funció del nombre de conductors i la seva secció.

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Taula 14: Diàmetres exteriors mínims dels tubs. [25]

Com a màxim aniran dos conductors d'1,5 mm² en cada tub, per tant, el diàmetre exterior dels tubs haurà de ser de **12 mm**.

8.3.2 Alternativa A-2

Panells

En aquesta alternativa, es menyspreen els blocs de les plantes, pel que el nombre de panells augmenta considerablement.

La superfície total segueix sent la mateixa, però amb l'avantatge de no estar limitats pels blocs i la seva rigidesa organitzativa.

La llargada total disponible és de 51.120 mm per tant, hi caben 41 panells tipus A que ocupen 51.045 mm, fet que suposaria una separació lateral entre panells de només 1,83 mm. Aquesta distància es considera molt petita pel que es decideix treure un panell. Amb 40 panells per planta, obtenim 920 m² de superfície instal·lada, això representa un aprofitament del 88,73% de la superfície total. En aquest cas, la separació entre panells serà de 33 mm i de 16,5 mm als extrems. Per la part inferior i superior, es deixaran 90,5 mm en ambdós casos.

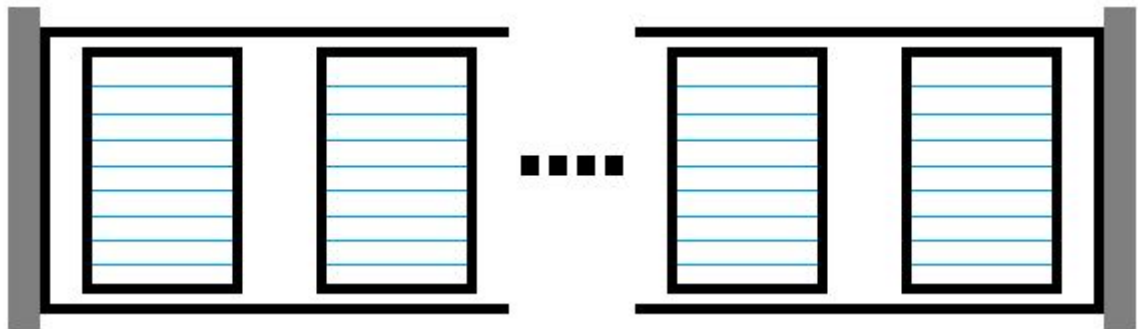


Figura 54: Instal·lació dels panells tipus A, sense tenir en compte els blocs de la façana.

Potència generada

La distribució dels panells és semblant a l'anterior alternativa, pel que els càlculs també ho seran. La part de les finestres aporta 23,17 kW com ja hem calculat anteriorment. En aquest cas, pel que respecta a la superfície opaca, disposem de 40 panells en sèrie per cada planta i, les 10 plantes disponibles en la zona d'estudi.

$$V_{total} = n^{\circ} \text{ panells en sèrie} * V_{panell} = 40 * 99 = 3960 \text{ V}$$

Fórmula 23.

$$I_{total} = n^{\circ} \text{ panells en paral·lel} * I_{panell} = 10 * 0,65 = 6,5 \text{ A}$$

Fórmula 24.

$$P_{total} = I_{total} * V_{total} = 3960 * 6,5 = 25.740 \text{ W} = 25,74 \text{ kW}$$

Fórmula 25.

La potència total generada en l'alternativa A-2 és de **48,91 kW**.

Inversors

Com passa en l'alternativa A-1, la tensió de sortida dels panells és extremadament elevada, pel que no es troben inversors capaços de treballar amb valors de tensions tan alts en la seva entrada. És per això que s'ha decidit dividir els panells en cada branca per reduir la tensió d'entrada a l'inversor. Es faran 8 divisions amb 5 panells en sèrie en cada

branca. Això aportarà una tensió d'entrada a l'inversor de 495 V, la intensitat serà de 6,5 A i, la potència generada de 3217,5 W. El millor inversor que s'adapta als valors de sortida dels panells és el StecaGrid3611_2, el qual presenta els següents rangs i valors màxims d'entrada:

Rang de Tensions de treball (V)	Intensitat màxima (A)	Potència màxima (W)
150 - 600	13	3.770

Taula 15: Valors màxims dels paràmetres d'entrada a l'inversor StecaGrid3611_2.

Per tant, per la part de les finestres, s'utilitzaran **6** inversors StecaGrid4611_2 i, per la superfície opaca **8** inversors StecaGrid3611_2.

Secció dels conductors de contínua

Com que la longitud dels conductors és la dels panells a l'inversor, en aquesta alternativa serà en la part de les finestres de 8,53 m i, en la superfície opaca de 6,4 m, ja que diferenciem 8 branques de 5 panells cadascuna al llarg dels 51,16 m de la planta.

Primer es determinarà la secció mínima dels conductors pel **criteri de caiguda de tensió**.

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot 1\text{-m/mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm^2)
8,53	6,5	90	594	0,015	0,14

Taula 16: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Finestres

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot 1\text{-m/mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm^2)
6,4	6,5	90	495	0,015	0,12

Taula 17: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Superfície opaca Alternativa A-2.

Pel que la secció mínima dels conductors ha de ser d'**1,5 mm²** segons el criteri de caiguda de tensió.

Segons el **criteri d'intensitat màxima admissible**, mirant la taula 12 podem definir el tipus d'instal·lació com a B i d'aïllament XPLE, es veu que la secció mínima és la d'**1,5 mm²**.

El darrer **criteri** és pel **corrent de curtcircuit**. Les condicions i la intensitat màxima admissible pel conductor és la mateixa que en l'alternativa A-1.

T_o (°C)	T_{max} (°C)	I_{cc} (A)	I_{max} (A)	T (°C)
20	90	6,5	21	41,67

Taula 18: Càlcul de la temperatura del conductor d'1,5 mm² de secció. Alternativa A-2

Per tant, després de veure els diferents criteris, la secció per als conductors de continua en l'alternativa A-2 serà d'**1,5 mm²**.

Tubs per a la canalització i protecció dels conductors

El diàmetre exterior dels tubs per aquesta alternativa seran de **12 mm**, segons es determina a partir de la taula 14. Ja que per cada tub hi aniran com a màxim dos conductors d'1,5 mm².

8.3.3. Alternativa B-1

Panells

En aquesta alternativa i posteriors, treballarem amb panells policristal·lins.

Recordant, que la superfície de cada bloc és de $11,53 \text{ m}^2$ ($5680 \times 2030 \text{ mm}$), això ens permet instal·lar 5 plaques tipus B per cada bloc. La llargada total dels 5 panells és de 5000 mm , per tant, sobren 680 mm els quals es distribuïran de la següent manera: es deixarà 136 mm entre panells i, 68 mm als extrems laterals. L'alçada dels panells és de 1700 mm i l'alçada disponible de 2030 , deixant 330 mm sense placa. Es deixarà 165 mm tant per la part superior com per la inferior. En cada planta s'instal·laran 45 panells, un total de 450 sent la superfície aprofitada de 765 m^2 , el que representa un $73,72\%$.

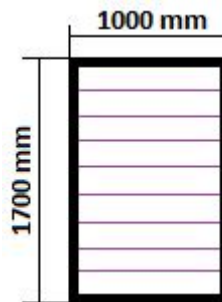


Figura 55: Panell solar policristal·lí tipus B.

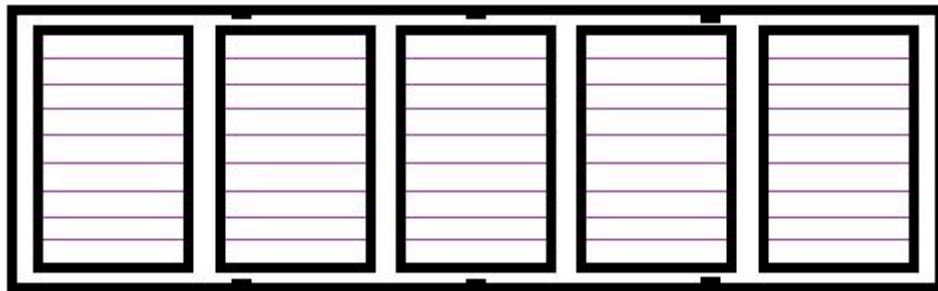


Figura 56: Instal·lació dels panells tipus B en cada un dels blocs de cada planta.

Potència generada

La distribució dels panells és semblant a l'anterior alternativa, pel que els càlculs també ho seran. La part de les finestres aporta $23,17 \text{ kW}$ com ja hem calculat anteriorment. En aquest cas, pel que respecta a la superfície opaca, disposem de 45 panells en sèrie per cada planta i, les 10 plantes disponibles en la zona d'estudi.

$$V_{total} = n^{\circ} \text{ panells en sèrie} * V_{panell} = 45 * 30 = 1350 \text{ V} \quad \text{Fórmula 26.}$$

$$I_{total} = n^{\circ} \text{ panells en paral·lel} * I_{panell} = 10 * 7,93 = 79,3 \text{ A} \quad \text{Fórmula 27.}$$

$$P_{total} = I_{total} * V_{total} = 1350 * 79,3 = 107.055 \text{ W} = 107,06 \text{ kW} \quad \text{Fórmula 28.}$$

La potència total generada en l'alternativa B-1 és **130,22 kW**.

Inversors

En les alternatives, cada cop hi ha més panells, pel que la seva redistribució per instal·lar-hi inversors es va modificant per tal de minimitzar-ne el nombre i treure'ls el màxim profit.

En cada planta hi ha 45 panells, els quals es distribuïran en tres grups, dos de 18 panells en sèrie i un altre grup de 9 panells.

La branca amb 18 panells produirà 540 volts de tensió, 7,93 amperes d'intensitat i una potència de 4282,2 W. Aquestes branques aniran connectades a inversors del tipus StecaGrid4611_2, un per branca en cada planta. La branca de 9 panells en sèrie aportaran a l'inversors els següents valors d'entrada: 270 V, 7,93 A i, 2141,1 W, pel que l'inversor triat és el StecaGrid3011_2.

Rang de Tensions de treball (V)	Intensitat màxima (A)	Potència màxima (W)
125 - 600	13	3.070

Taula 19: Valors màxims dels paràmetres d'entrada a l'inversor StecaGrid3011_2.

Com que la intensitat d'aquests panells és molt elevada, no es poden connectar en paral·lel, ja que d'aquesta manera obtindríem tensions d'entrada a l'inversor extremadament elevades. És per això que s'utilitzarà inversors independents en cada planta.

Per tant, en aquesta alternativa es connectaran **6** inversors StecaGrid4611_2 per les finestres, **20** StecaGrid4611_2 i **10** StecaGrid3011_2 per la superfície opaca. Sent un total de **36** inversors.

Secció dels conductors de contínua

La secció dels conductors de les finestres és $1,5 \text{ mm}^2$, com ja s'ha vist en les altres alternatives.

En la superfície opaca distingim dues longituds, la de la branca amb 18 panells en sèrie, que fa 20,46 m i la dels 9 panells que en fa 10,23 m.

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm^2)
20,46	7,93	90	540	0,015	0,45

Taula 20: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Superfície opaca branca de 18 panells. Alternativa B-1.

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm^2)
10,23	7,93	90	270	0,015	0,45

Taula 21: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Superfície opaca branca de 9 panells. Alternativa B-1.

A partir de la taula 12 i segons el criteri d'intensitat màxima admissible, com que per a tots els conductors hi circularà com a màxim 7,93 A i la màxima admissible en el primer nivell de seccions **$1,5 \text{ mm}^2$** és 21 A. Així que no hi hauria cap inconvenient amb aquesta secció de conductor.

Criteri de corrent de curtcircuit. Les condicions i la intensitat màxima admissible del conductor són:

T_o (°C)	T_{max} (°C)	I_{cc} (A)	I_{max} (A)	T (°C)
20	90	7,93	21	46,43

Taula 22: Càlcul de la temperatura del conductor d'1,5 mm² de secció. Alternativa B-1.

Per tant, després de veure els diferents criteris, la secció per als conductors de continua en l'alternativa B-1 és d'**1,5 mm²**.

Tubs per a la canalització i protecció dels conductors

El diàmetre exterior dels tubs per aquesta alternativa seran de **12 mm**, segons es determina a partir de la taula 14. Ja que per cada tub hi aniran com a màxim dos conductors d'1,5 mm².

8.3.4. Alternativa B-2

Panells

Amb els panells tipus B i, sense tenir en compte els blocs de les plantes, tenim que la llargada total disponible és de 51120 mm. Hi caben 51 plaques que ocupen 51000 mm, fet que suposa que entre plaques només es deixi 2,3 mm. Aquesta distància es considera molt petita per tant es treu una placa. Amb 50 plaques s'aprofita una superfície de 850 m² el que suposa un 81,98%. Respecte a l'alternativa B-1, s'ha augmentat el nombre de panells en 50 unitats, és per això que el % d'ocupació augmenta de la manera en què ho fa.

Pel que respecta a la distribució dels panells, serà un al costat de l'altre per tota la llargada de la planta. Es deixarà una separació entre panells de 22,4 mm i, 11,2 mm als extrems. La distància inferior i superior dels panells serà de 165 mm, prou considerable, però és degut a l'alçada que presenten aquests panells.

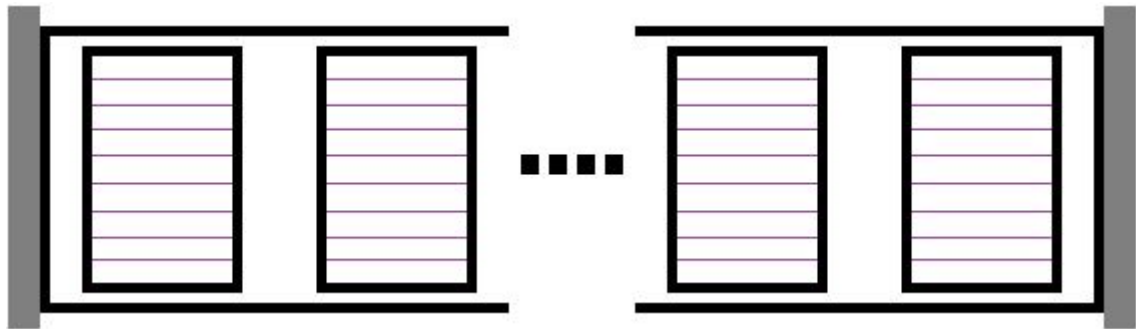


Figura 57: Instal·lació dels panells tipus B al llarg de la planta sense tenir en compte els blocs.

Potència generada

La distribució dels panells és semblant a l'anterior alternativa, pel que els càlculs també ho seran. La part de les finestres aporta 23,17 kW com ja hem calculat anteriorment. En aquest cas, pel que respecta a la superfície opaca, disposem de 50 panells en sèrie per cada planta i, les 10 plantes disponibles en la zona d'estudi.

$$V_{total} = n^{\circ} \text{ panells en sèrie} * V_{panell} = 50 * 30 = 1500 \text{ V}$$

Fórmula 29.

$$I_{total} = n^{\circ} \text{ panells en paral·lel} * I_{panell} = 10 * 7,93 = 79,3 \text{ A}$$

Fórmula 30.

$$P_{total} = I_{total} * V_{total} = 1500 * 79,3 = 118.950 \text{ W} = 118,95 \text{ kW}$$

Fórmula 31.

La potència total generada en l'alternativa B-2 és **142,12 kW**.

Inversors

En les alternatives, cada cop hi ha més panells, pel que la seva redistribució per instal·lar-hi inversors es va modificant per tal de minimitzar-ne el nombre i treure'ls el màxim profit.

En cada planta hi ha 50 panells, els quals es distribuïran en tres grups, dos de 19 panells en sèrie i un altre grup de 12 panells.

La branca amb 19 panells produirà 570 volts de tensió, 7,93 amperes d'intensitat i una potència de 4520,1 W. Aquestes branques aniran connectades a inversors del tipus

StecaGrid4611_2, un per branca en cada planta. La branca de 9 panells en sèrie aportaran a l'inversors els següents valors d'entrada: 270 V, 7,93 A i, 2854,8 W, pel que l'inversor triat és el StecaGrid3011_2.

Com que la intensitat d'aquests panells és molt elevada, no es poden connectar en paral·lel, ja que d'aquesta manera obtindríem tensions d'entrada a l'inversor extremadament elevades. És per això que s'utilitzarà inversors independents en cada planta.

Per tant, en aquesta alternativa es connectaran **6** inversors StecaGrid4611_2 per les finestres, **20** StecaGrid4611_2 i **10** StecaGrid3011_2 per la superfície opaca. Sent un total de **36** inversors.

Secció dels conductors de contínua

En la superfície opaca distingim dues longituds, la de la branca amb 19 panells en sèrie, que fa 19,44 m i la dels 12 panells que en fa 12,28 m.

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot 1\text{m/mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm²)
19,44	7,93	90	570	0,015	0,40

*Taula 23: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Superfície opaca
branca de 19 panells. Alternativa B-2.*

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot 1\text{m/mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm²)
12,28	7,93	90	360	0,015	0,40

*Taula 24: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió. Superfície opaca
branca de 12 panells. Alternativa B-2.*

Per tant, la secció mínima dels conductors serà segons el criteri de caiguda de tensió d'**1,5 mm²**.

A partir de la taula 12 i segons el criteri d'intensitat màxima admissible, com que per a tots els conductors hi circularà com a màxim 7,93 A i la màxima admissible en el primer nivell de seccions **1,5 mm²** és 21 A. Així que no hi hauria cap inconvenient amb aquesta secció de conductor.

Criteri de corrent de curtcircuit. Les condicions i la intensitat màxima admissible del conductor es recullen en la taula 22.

Per tant, després de veure els diferents criteris, la secció per als conductors de contínua en l'alternativa B-2 és d'**1,5 mm²**.

Tubs per a la canalització i protecció dels conductors

El diàmetre exterior dels tubs per aquesta alternativa seran de **12 mm**, segons es determina a partir de la taula 14. Ja que per cada tub hi aniran com a màxim dos conductors d'**1,5 mm²**.

8.3.5. Alternativa C-1

Panells

La placa tipus C és la que s'utilitzarà en les dues següents alternatives. Aquesta placa és molt petita comparada amb les anteriors proposades. Les seves dimensions ens permet introduir dues fileres de plaques, una sobre de l'altre, per tal d'aprofitar el màxim la superfície disponible.

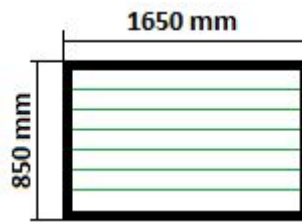


Figura 58: Panell policristal·lí tipus C.

Com ja hem comentat anteriorment, la superfície de cada bloc és de $11,53 \text{ m}^2$ ($5680 \times 2030 \text{ mm}$), això ens permet instal·lar 6 plaques tipus B per cada bloc, 3 per cada fila. La llargada total de les 3 plaques és de 4950 mm , per tant, sobren 730 mm els quals es distribuïran de la següent manera: es deixarà 243 mm entre plaques i $122,5 \text{ mm}$ als extrems laterals. L'alçada de les plaques és de 1700 mm i l'alçada disponible és de 2030 , deixant 330 mm sense placa. Es deixarà 165 mm entre plaques i, $82,5 \text{ mm}$ tant per la part superior com per la inferior. En cada bloc s'instal·laran dues files de 3 panells cadascuna, fent un total de 54 panells per planta i, 540 panells en tota la superfície disponible. La superfície de façana ocupada en aquesta alternativa és de $757,08$, el que suposa un $73,02\%$ del total.

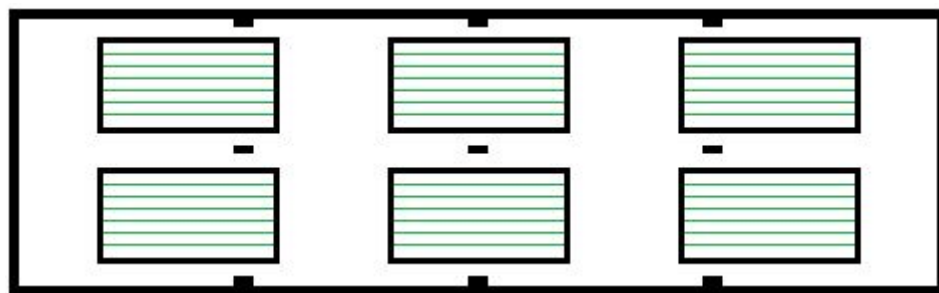


Figura 59: Instal·lació dels panells tipus C dins de cada bloc.

Potència generada

La part de les finestres aporta $23,17 \text{ kW}$ com ja hem calculat anteriorment. En aquesta alternativa disposem de 27 panells en cada filera, sent dues fileres en cada planta. En cada planta es consideren dues branques diferents i, tenint en compte les 10 plantes disponibles en la zona d'estudi, en total hi ha 20 branques.

$$V_{total} = n^{\circ} \text{ panells en sèrie} * V_{panell} = 27 * 18 = 486 \text{ V} \quad \text{Fórmula 32.}$$

$$I_{total} = n^{\circ} \text{ panells en paral·lel} * I_{panell} = 1 * 7,93 = 7,93 \text{ A} \quad \text{Fórmula 33.}$$

$$P_{total} = I_{total} * V_{total} = 486 * 7,93 = 3.853,98 \text{ W} = 3,85 \text{ kW} \quad \text{Fórmula 34.}$$

Aquest càlcul és per cada branca de la instal·lació en la superfície opaca, pel que el total de la potència generada en l'alternativa B-2 és 23,17 kW + 77,08 kW = **100,25 kW**.

Inversors

En cada branca hi ha 27 panells, cada branca hi connectem un inversor, els valors d'entrada que tindria serien els de la taula 25.

Tensions d'entrada (V)	Intensitat entregada (A)	Potència generada (W)
486	7,93	3.853,98

Taula 25: Valors entregats a l'inversor StecaGrid4611_2 en l'alternativa C-1.

L'inversor StecaGrid4611_2 és el triat per aquesta alternativa, ja que presenta el rang suficient per incloure els valors entregats pels panells.

Per tant, en aquesta alternativa es connectaran **6** inversors StecaGrid4611_2 per les finestres i **20** StecaGrid4611_2, un per cada branca, en la superfície opaca. Un total de **26** inversors.

Secció dels conductors de contínua

Els conductors en la superfície opaca tindran una llargada 51,16 m, el llarg de la façana.

Longitud	Intensitat	Conductivitat	Tensió (V)	Caiguda de	Secció
----------	------------	---------------	------------	------------	--------

(m)	(A)	($\Omega \cdot 1\text{m/mm}^2$)		tensió (tant per u)	mínima (mm^2)
51,16	7,93	90	486	0,015	1,24

Taula 26: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió dels panells en la superfície opaca. Alternativa C-1.

Per tant, la secció mínima dels conductors serà segons el criteri de caiguda de tensió d'**1,5 mm²**.

A partir de la taula 12 i segons el criteri d'intensitat màxima admissible, com que per a tots els conductors hi circularà com a màxim 7,93 A i la màxima admissible en el primer nivell de seccions **1,5 mm²** és 21 A. Així que no hi hauria cap inconvenient amb aquesta secció de conductor.

Criteri de corrent de curtcircuit. Les condicions i la intensitat màxima admissible del conductor es recullen en la taula 22.

Per tant, després de veure els diferents criteris, la secció per als conductors de contínua en l'alternativa C-1 és d'**1,5 mm²**.

Tubs per a la canalització i protecció dels conductors

El diàmetre exterior dels tubs per aquesta alternativa seran de **12 mm**, segons es determina a partir de la taula 14. Ja que per cada tub hi aniran com a màxim dos conductors d'1,5 mm².

8.3.6. Alternativa C-2

Panells

En la darrera alternativa, es distribueixen panells tipus C al llarg de les plantes, sense tenir en compte els blocs. Això ens permet instal·lar 30 panells per fila, un total de 60 per

planta, ja que com en l'anterior alternativa, es disposen dues fileres. La distància de separació entre panells és de 165 mm en alçada i, 54 mm de llargada. En els extrems, tant inferiors com superiors, es deixarà una distància de 82,5 mm i als laterals 27 mm. La superfície ocupada pels 60 panells és de 841,2 m², un 81,13% d'ocupació respecta el total disponible.

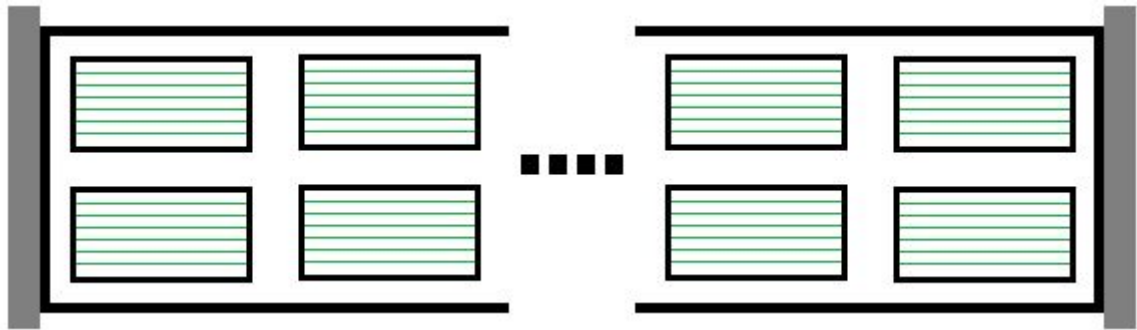


Figura 59: Instal·lació dels panells tipus C al llarg de la planta, sense tenir en consideració els blocs.

Potència generada

La part de les finestres aporta 23,17 kW com ja hem calculat anteriorment. En aquesta alternativa disposem de 30 panells en cada filera, sent dues fileres en cada planta. En cada planta es consideren dues branques i tenint en compte les 10 plantes disponibles en la zona d'estudi, en total hi ha 20 branques.

$$V_{total} = n^{\circ} \text{ panells en sèrie} * V_{panell} = 30 * 18 = 540 V \quad \text{Fórmula 35.}$$

$$I_{total} = n^{\circ} \text{ panells en paral·lel} * I_{panell} = 1 * 7,93 = 7,93 A \quad \text{Fórmula 36.}$$

$$P_{total} = I_{total} * V_{total} = 540 * 7,93 = 4.282,2 W = 4,28 kW \quad \text{Fórmula 37.}$$

Aquest càlcul és per cada branca de la instal·lació en la superfície opaca, pel que el total de la potència generada en l'alternativa B-2 és 23,17 kW + 85,64 kW = **108,81 kW**.

Inversors

En cada branca hi ha 30 panells, cada branca hi connectem un inversor, els valors d'entrada que tindria serien els de la taula 30.

Tensions d'entrada (V)	Intensitat entregada (A)	Potència generada (W)
540	7,93	4.282,2

Taula 27: Valors entregats a l'inversor StecaGrid4611_2 en l'alternativa C-2.

L'inversor StecaGrid4611_2 és el triat per aquesta alternativa, ja que presenta el rang suficient per incloure els valors entregats pels panells.

Per tant, en aquesta alternativa es connectaran **6** inversors StecaGrid4611_2 per les finestres i **20** StecaGrid4611_2, un per cada branca, en la superfície opaca. Un total de **26** inversors.

Secció dels conductors de contínua

Els conductors en la superfície opaca tindran una llargada 51,16 m, el llarg de la façana.

Longitud (m)	Intensitat (A)	Conductivitat ($\Omega \cdot 1\text{m/mm}^2$)	Tensió (V)	Caiguda de tensió (tant per u)	Secció mínima (mm^2)
51,16	7,93	90	540	0,015	1,11

Taula 28: Càlcul de la secció mínima dels cables per caiguda de tensió dels panells en la superfície opaca. Alternativa C-2.

Per tant, la secció mínima dels conductors serà segons el criteri de caiguda de tensió d'**1,5 mm²**.

A partir de la taula 12 i segons el criteri d'intensitat màxima admissible, com que per a tots els conductors hi circularà com a màxim 7,93 A i la màxima admissible en el primer nivell de seccions **1,5 mm²** és 21 A. Així que no hi hauria cap inconvenient amb aquesta secció de conductor.

Criteri de corrent de curtcircuit. Les condicions i la intensitat màxima admissible del conductor es recullen en la taula 22.

Per tant, després de veure els diferents criteris, la secció per als conductors de contínua en l'alternativa C-1 és d'**1,5 mm²**.

Tubs per a la canalització i protecció dels conductors

El diàmetre exterior dels tubs per aquesta alternativa seran de **12 mm**, segons es determina a partir de la taula 14. Ja que per cada tub hi aniran com a màxim dos conductors d'1,5 mm².

8.4 Resum alternatives

Després de tots els càlculs realitzats en les diferents alternatives, a continuació, es presenta una recopilació dels diferents components que les integren.

	StecaGrid4611_2	StecaGrid3611_2	StecaGrid3011_2	Total inversors
Alternativa A-1	12			12
Alternativa A-2	6	8		14
Alternativa B-1	26		10	36
Alternativa B-2	26		10	36
Alternativa C-1	26			26

Alternativa C-2	26			26
-----------------	----	--	--	-----------

Taula 29: Nombre i tipus d'inversor instal·lat a cada alternativa.

	StecaGrid4611_2	StecaGrid3611_ 2	StecaGrid3011_ 2	Secció (mm²)
Alternativa A-1	0,14			1,5
Alternativa A-2	0,14	0,12		1,5
Alternativa B-1	0,14 / 0,45		0,45	1,5
Alternativa B-2	0,14 / 0,40		0,4	1,5
Alternativa C-1	0,14 / 1,26			1,5
Alternativa C-2	0,14 / 1,11			1,5

Taula 30: Secció mínima segons el criteri de caiguda de tensió, dels conductors de contínua dels panells als inversors.

	Intensitat màxima de curtcircuit (A)	Secció mínima XLPE (mm ²)
Alternativa A-1	6,50	0,13
Alternativa A-2	6,50	0,13
Alternativa B-1	7,93	0,15
Alternativa B-2	7,93	0,15
Alternativa C-1	7,93	0,15
Alternativa C-2	7,93	0,15

Taula 31: Secció mínima segons criteri d'intensitat màxima admissible.

	Intensitat màxima de curtcircuit (A)	Temperatura de treball del conductor (°C)
Alternativa A-1	6,50	41,67
Alternativa A-2	6,50	41,67
Alternativa B-1	7,93	46,43
Alternativa B-2	7,93	46,43
Alternativa C-1	7,93	46,43
Alternativa C-2	7,93	46,43

Taula 32: Temperatures de treball per secció dels conductors d'1,5 mm².

Tots els tubs tindran un diàmetre exterior de **12 mm**.

9. Anàlisi de la producció energètica

A l'hora de dimensionar una instal·lació fotovoltaica que injecta a la xarxa elèctrica l'energia produïda, s'ha de tenir en compte el W màxims que s'hi poden abocar.

En funció de la superfície de la instal·lació i la potència específica de cada tipus de panell, ja ve siguin cristal·lins o de capa fina, calculem la potència de la instal·lació i, la màxima que en pot generar.

Potència específica	Wp/m ²
Silici cristal·lí	123 - 151
Capa fina	65 - 104

Taula 33: Potència específica dels panells cristal·lins i de capa fina.

En funció de la superfície emprada per cada tipus de panell, calculem la potència màxima admissible en les diferents alternatives. Ja ve sigui els 2077,1 m² de panells de capa fina o la meitat de la superfície amb un sistema diferent.

	Rang de potència màxima instal·lada (W)	Rang de potència màxima instal·lada (kW)
Alternativa A	13.5011,5 - 216.018,4	135,01 - 216,02
Alternatives B i C	195.144 - 264.690	195,14 - 264,69

Taula 34: Rang de potència màxima que es pot instal·lar segons l'alternativa triada.

Com s'ha calculat en anteriors apartats, la potència instal·lada en cada alternativa és:

Alternativa	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
kW	46,33	48,91	130,22	142,12	100,25	108,81

Taula 35: Potència instal·lada per cada alternativa.

Al cap i a la fi, el que ens interessa és saber l'energia elèctrica injectada a la xarxa elèctrica que produeix la nostra instal·lació. Per saber-ne el valor, s'utilitza la fórmula 38.

$$E = P * \frac{G}{G'} * PR * FS, \text{ on} \quad \text{Fórmula 38.}$$

E : Energia injectada a la xarxa elèctrica (kWh)

P : Potència elèctrica instal·lada (W)

G : Radiació solar incident a la instal·lació (kWh/m²)

G' : Irradiància estàndard (1.000 W/m²)

PR : Performance ratio

FS : Factor d'ombra

En la taula 1, ja s'ha vist la radiació global diària en la superfície de la nostra instal·lació. Per tal d'obtenir valors mensuals en kWh/m², s'ha multiplicat cada valor pel nombre de dies de cada mes. Suposant 28 dies en el mes de Febrer.

Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
43.52	50.27	77.59	95.90	110.99	111.54	114.17	106.47	83.11	62.52	46.74	40.01

Taula 36: Radiació solar incident mensual en kwh/m².

El Performance Ratio és el rendiment energètic de la instal·lació, per elaborar el seu càlcul s'han de tenir en compte diferents aspectes que afecten l'eficiència de la instal·lació.

El rendiment dels panells es veu afectat per la temperatura i la brutícia que es pugui acumular. Segons les fitxes tècniques, els panells de capa fina presenten un rendiment del 95%, en canvi els panells policristal·lins tenen una eficiència del 90%. Fent una mitja aproximada, es considera una eficiència dels panells del 92,5%.

En els inversors es produeixen pèrdues en el procés de transformació pel que l'eficiència dels inversors utilitzats en la instal·lació presenten un 96,3%.

El cablejat, per efecte Joule també presenta pèrdues pel que el seu rendiment es veu afectat. Es pot considerar un rendiment dels conductors del 95%.

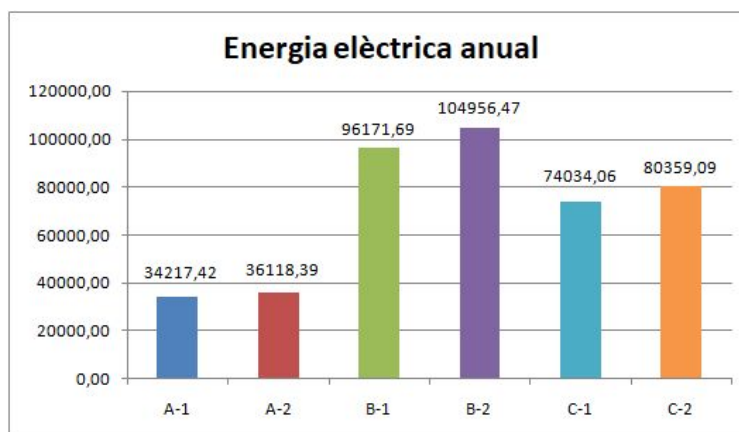
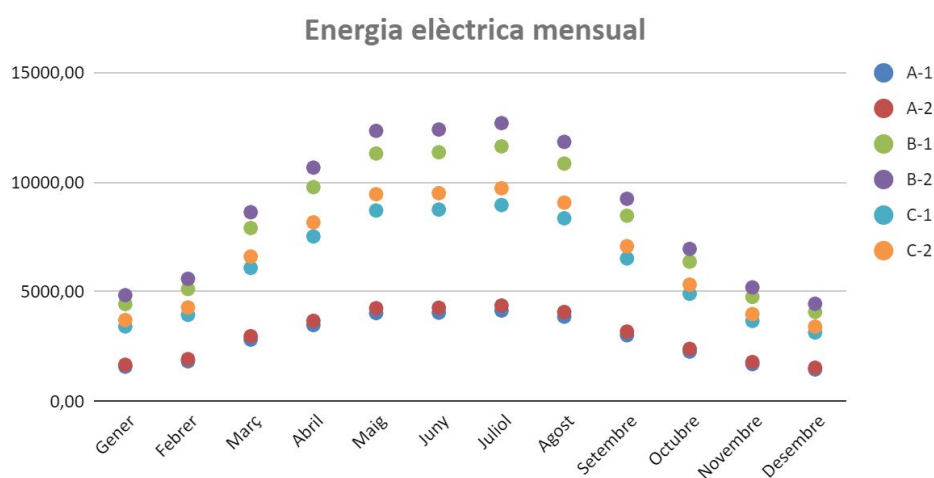
Per últim com a tota instal·lació on hi ha tants elements, sempre hi ha factors externs o incontrolables que produeixen aturades o interrupcions en el servei. S'estima una pèrdua del 7%, pel que el rendiment és del 93%.

Després de tenir en compte totes les eficiències de la instal·lació, ja es pot calcular el Performance Ratio.

$$PR = (0,925 * 0,963 * 0,95 * 0,93) * 100 = 78,70 \%$$

Com es comenta al final del punt 6. Recurs Energètic, el percentatge del factor d'ombra, s'agafa del programa PVsite, sent aquest del 0,5%. Per tant el percentatge a emprar en la fórmula de l'energia injectada és 99,50%.

kWh	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
Gener	1579,09	1666,82	4438,21	4843,61	3416,58	3708,47
Febrer	1823,99	1925,32	5126,51	5594,79	3946,45	4283,61
Març	2815,04	2971,43	7911,96	8634,67	6090,71	6611,07
Abril	3479,49	3672,79	9779,47	10672,77	7528,35	8171,53
Maig	4026,69	4250,39	11317,43	12351,21	8712,28	9456,61
Juny	4046,67	4271,48	11373,59	12412,51	8755,52	9503,54
Juliol	4142,08	4372,20	11641,76	12705,17	8961,96	9727,61
Agost	3862,70	4077,30	10856,54	11848,22	8357,48	9071,50
Setembre	3015,16	3182,67	8474,44	9248,54	6523,72	7081,07
Octubre	2268,43	2394,45	6375,65	6958,04	4908,05	5327,37
Novembre	1695,66	1789,87	4765,84	5201,17	3668,80	3982,24
Desembre	1451,55	1532,19	4079,74	4452,40	3140,63	3408,94
Total	34217,42	36118,39	96171,69	104956,47	74034,06	80359,09

Taula 37: Energia elèctrica injectada a la xarxa elèctrica per cada alternativa.*Figura 60: Energia elèctrica generada per les diferents alternatives en un any.**Figura 61: Energia elèctrica mensual injectada a la xarxa elèctrica per cada alternativa.*

Com es pot observar les alternatives que utilitzen panells policristal·lins generen més del doble d'energia elèctrica durant tot l'any que les alternatives A-1 i A-2 que només utilitzen panells de capa fina. Cal destacar que el nombre de panells en les alternatives amb panells policristal·lins és major, entre 50 i 240 panells de diferència. Tot i que això és una dada orientativa, ja que la producció de cada panell és diferent.

10. Manteniment del sistema

Seguint les directrius del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red Eléctrica, tota instal·lació haurà de tenir un contracte de manteniment de la instal·lació tant en l'àmbit preventiu com correctiu, per tal d'assegurar el correcte funcionament de la instal·lació, augmentar la producció i prolongar-li la vida útil.

El manteniment preventiu es basa en operacions d'inspecció visual, verificació d'actuació d'actuacions i altres que, aplicades a la instal·lació han de permetre mantenir dins d'uns límits acceptables les condicions de funcionament, prestacions, protecció i durabilitat de la mateixa instal·lació.

Com a mínim s'haurà de fer una visita anual per tal de dur a terme les següents activitats:

- Comprovació de les proteccions elèctriques
- Comprovació de l'estat dels mòduls, verificant l'estat de les connexions.
- Comprovació de l'estat dels inversors i el seu correcte funcionament.
- Comprovació de l'estat mecànic dels conductors, terminal i la resta de components.

Per cada visita s'haurà d'elaborar un informe tècnic on es detalla el funcionament de la instal·lació i les possibles incidències trobades.

Pel que respecta al manteniment correctiu, s'hi inclouen les operacions de substitució de components per tal de garantir el correcte funcionament de la instal·lació. En aquest manteniment s'inclou:

- La visita a la instal·lació cada vegada que sigui necessari en cas d'avaría greu.
- L'anàlisi i elaboració del pressupost dels treballs i recanvis de components

Per les dimensions de la instal·lació el cost del manteniment serà aproximadament de 1.000 €, per tal de cobrir les necessitats de la instal·lació i garantir el seu correcte funcionament.

11. Anàlisi econòmic

L'estudi de la viabilitat econòmica en servirà per decidir quina de les diferents alternatives destaca per sobre de les altres.

Per cada alternativa, es desglossen els costos dels diferents components que conformen la instal·lació, com són els panells, els inversors, els conductors, els tubs d'aïllament, les proteccions i el manteniment d'aquesta.

(€)	Panells fotovoltaics	Inversors	Conductors	Tubs	Proteccions	Cost instal·lació
Alternativa A-1	298080	12412	1484	1253	4628	317857
Alternativa A-2	314640	13467	1484	1253	5233	336077
Alternativa B-1	237780	35362	1484	1253	11893	287772
Alternativa B-2	247640	35362	1484	1253	11893	297632
Alternativa C-1	236861	26893	2225	2507	8866	277352
Alternativa C-2	246619	26893	2225	2507	8866	287110

Taula 38: Costos dels diferents components que formen cada una de les alternatives.

Per tal veure quin és l'estalvi econòmic a causa de la instal·lació dels panells solar, cal saber el preu del kWh. S'agafa el valor mitjà de diferents companyies, Endesa, Iberdrola, entre d'altres, sent de 0,1233 €/kWh. A partir de l'energia elèctrica generada al llarg de l'any podem calcular la compensació econòmica i, veure quin és l'ingrés de cada alternativa.

Alternativa	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
Energia elèctrica generada (kWh)	34.217,42	36.118,39	96.171,69	104.956,47	74.034,06	80.359,09
Ingrés (€)	4.219,01	4.453,40	11.857,97	12.941,13	9.128,40	9.908,28

Taula 39: Ingrés anual de cada alternativa.

Com es pot observar, els ingressos són significativament baixos, això és a causa que l'energia elèctrica generada no és molt elevada. Els principals motius són l'orientació de la instal·lació i, la inclinació dels panells fotovoltaics, els quals no estan en la seva posició òptima.

Per tal de veure quan es recuperaria la inversió, es considera que a mesura que avança el temps, l'eficiència de la instal·lació anirà disminuint. Pel que s'ha suposat una disminució de l'1% de la potència instal·lada. Per altra banda, es considera que el preu del kWh anirà augmentat a causa de l'increment en l'ús d'aquest tipus d'instal·lació, en general les energies renovables. Es considera un increment anual del 3%. Per últim, el cost de la instal·lació es considera fix al llarg dels anys, sent de 1.000 €, per tal de garantir el correcte funcionament de la instal·lació.

A continuació es mostren els fluxos acumulats de les diferents alternatives amb un horitzó de 50 anys.

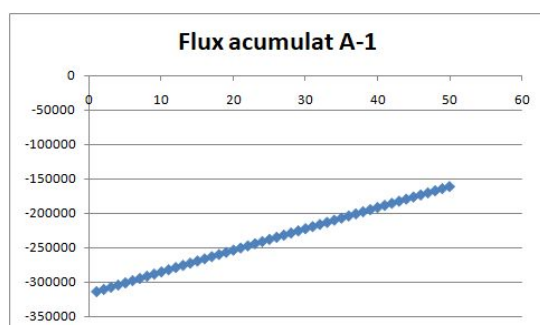


Figura 62: Flux acumulat alternativa A-1.

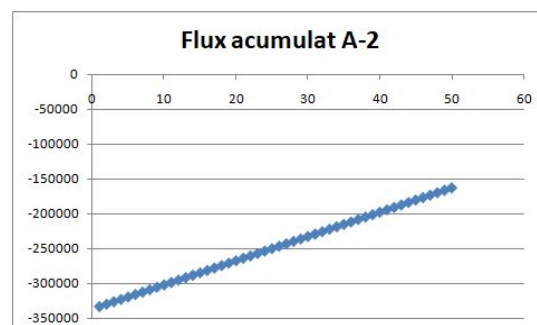


Figura 63: Flux acumulat alternativa A-2.

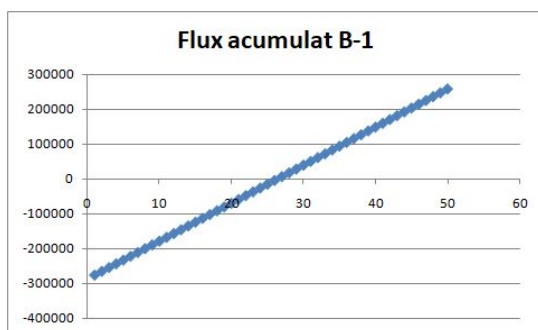


Figura 64: Flux acumulat alternativa B-1.

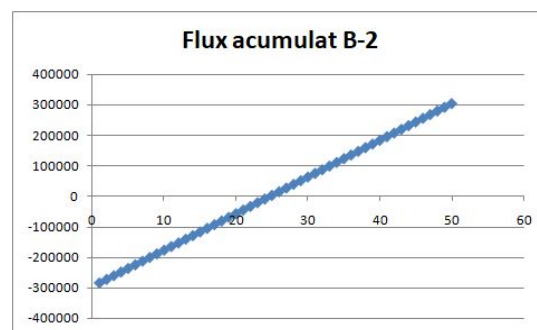


Figura 64: Flux acumulat alternativa B-2.

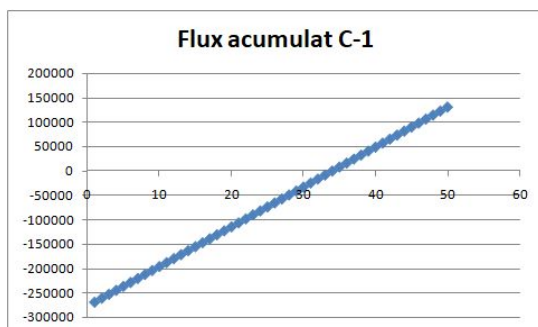


Figura 66: Flux acumulat alternativa C-1.

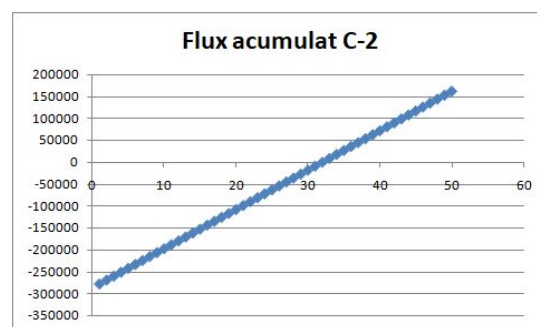


Figura 67: Flux acumulat alternativa C-2.

Per cada alternativa cal calcular el període de retorn (PR), que és el temps que es triga a recuperar la inversió inicial i començar a treure beneficis de la instal·lació. En la taula 40 veiem els diferents PR.

Alternativa	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
PR (anys)	105,24	96,13	26,43	24,86	34,00	32,12

Taula 40: Període de retorn de les inversions en les diferents alternatives.

Els PR obtinguts són de molts anys, en qualsevol projecte, interessa períodes de retorn els més petits possibles, per tal de treure el màxim benefici. En funció del projecte es dona per vàlid un PR de 2-3 anys fins a 10-15 anys. Al veure aquests valors s'ha decidit augmentar l'horitzó del projecte i, pensar a llarg termini. Ja que per les alternatives B i C al cap de 50 s'ha recuperat i, obtingut un gran benefici. En canvi, les alternatives A, als 50 anys encara no han recuperat la inversió inicial.

Destacar la gran inviabilitat econòmica de les dues primeres alternatives, les quals presenten un PR al voltant dels 100 anys. Aquest valor és extremadament elevat, pel que fa a pensar fins a quin punt els panells de silici amorf es poden utilitzar per recobrir tota la façana d'un edifici.

Tot i els valors obtinguts, l'alternativa B-2 és la que presenta un període de retorn menor i, al cap de 50 anys presenta major benefici. Encara que la inversió inicial sigui la tercera més elevada, és la que més kWh genera al llarg de l'any, això és degut al nombre de panells i el tipus de panell solar instal·lat, pel que els ingressos anuals són majors.

12. Esquema elèctric de la millor alternativa

La instal·lació fotovoltaica de l'alternativa B-2 és de grans dimensions, pel que s'ha hagut de dividir l'esquema elèctric en diferents parts, per a poder apreciar amb més detalls les connexions i components que el conformen.

Els dos primers esquemes unifilars fan referència a l'esquema elèctric de les finestres. Tenim 6 matrius de 10 files x 6 columnes de panells, connectades a inversors diferents. Tots ells s'agrupen per a injectar finalment l'energia elèctrica generada a la xarxa elèctrica. La figura 68 mostra les matrius dels panells tipus A i, la figura 69 la unió dels inversors per injectar l'energia elèctrica a la xarxa.

Pel que respecta a la superfície opaca, en cada planta trobem tres branques de panells en sèrie diferent. Dues de 19 panells connectats a l'inversor StecaGrid4611_2 i, una branca de 12 panells connectats a l'inversor StecaGrid3611_2. Per tant, la figura 70 mostra l'esquema elèctric dels panells tipus B connectats a l'inversor StecaGrid4611_2, del qual hi haurà dos com aquest. Per últim, en la figura 71 hi ha l'esquema elèctric dels panells tipus B connectats a l'inversor StecaGrid3611_2.

En la figura 72 hi ha una llegenda dels elements que apareixen en la instal·lació elèctrica. Cal destacar que els primers fusibles que apareixen són els de contínua, el segon és el fusible general de la instal·lació. L'interruptor que hi ha després de l'inversor és el magnetotèrmic i, el que està instal·lat després del diferencial és l'ICP.

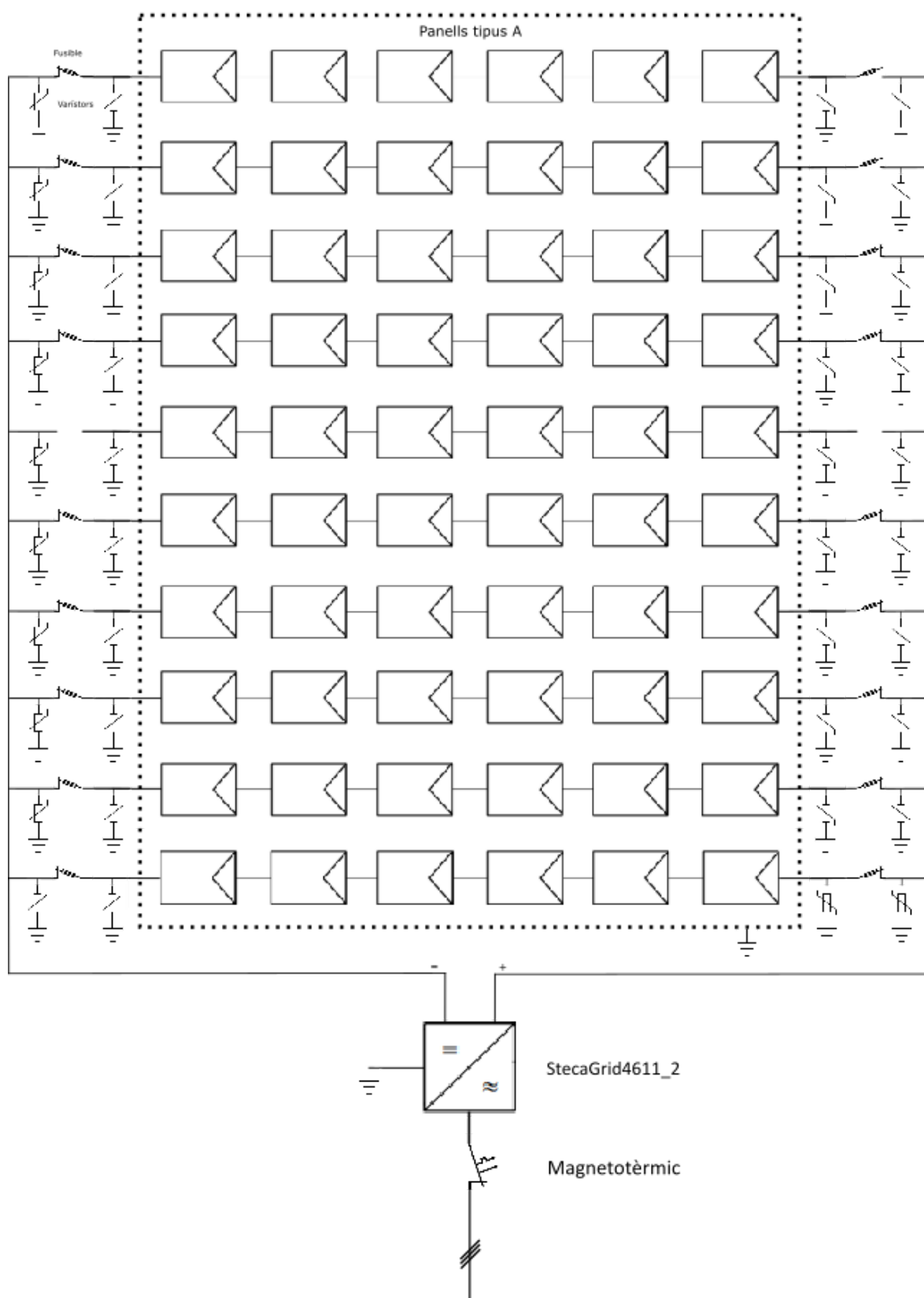


Figura 68: Matriu de panells tipus A connectats a l'inversor StecaGrid4611_2.

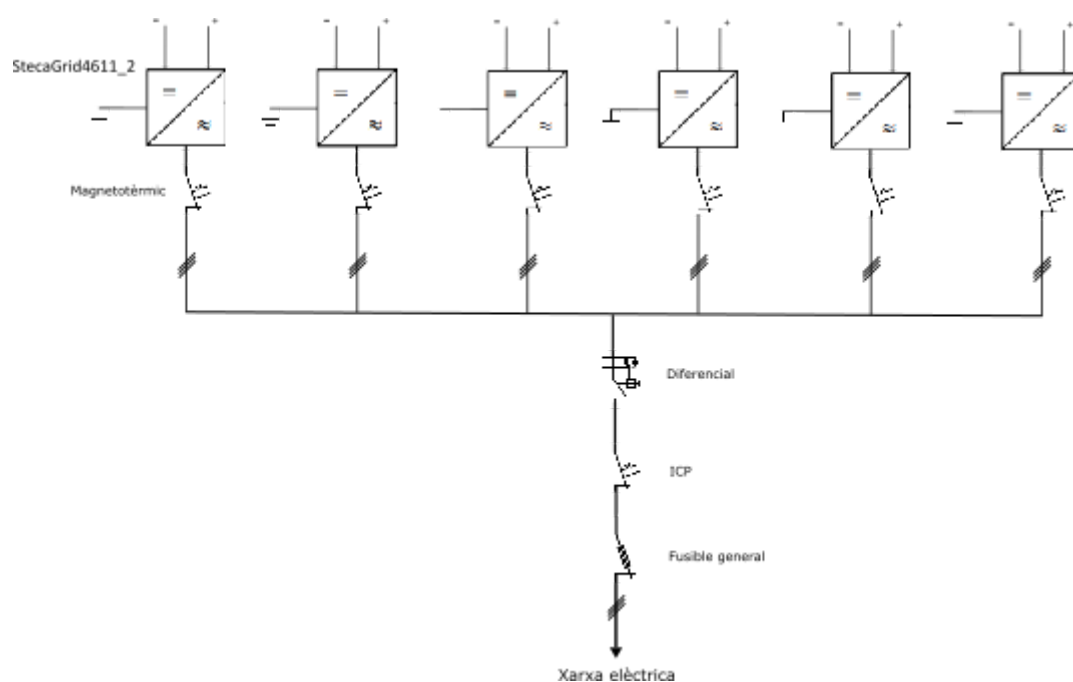


Figura 69: Connexions dels diferents inversors StecaGrid4611_2 dels panells tipus A cap a la xarxa elèctrica.

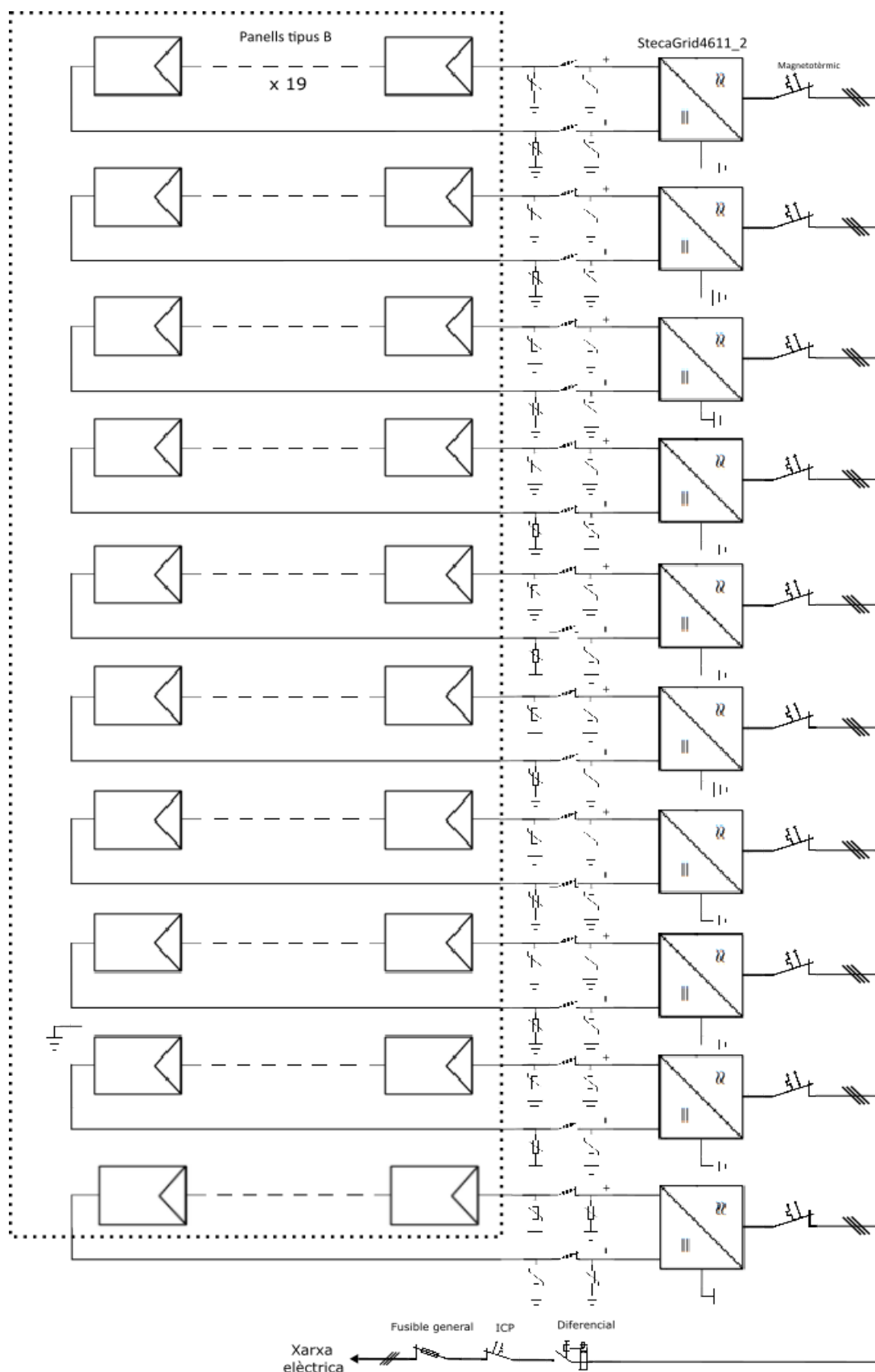


Figura 70: Esquema elèctric dels panells tipus B a l'inversor StecaGrid4611_2.

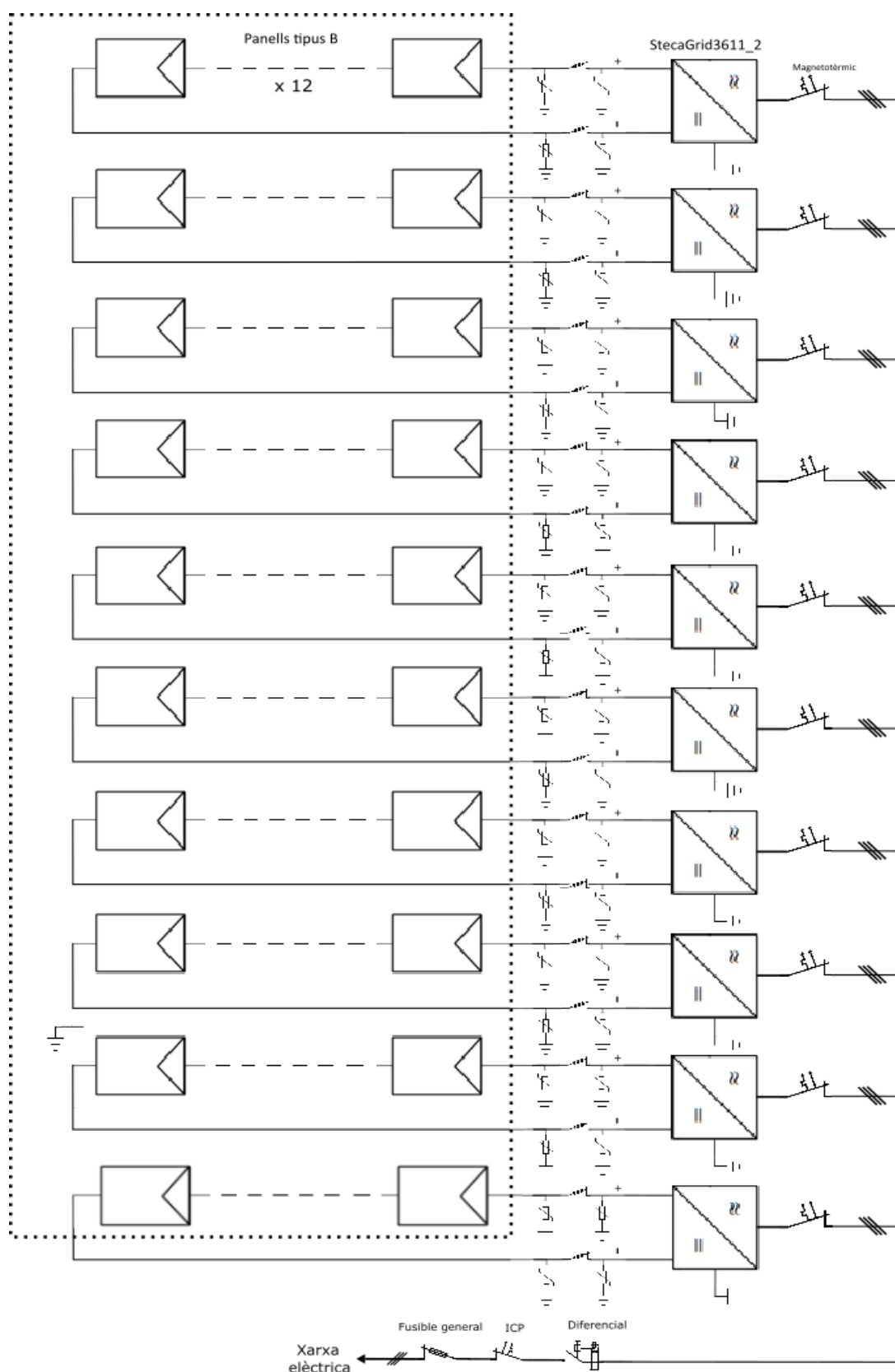


Figura 71: Esquema elèctric dels panells tipus B a l'inversor StecaGrid3611_2.

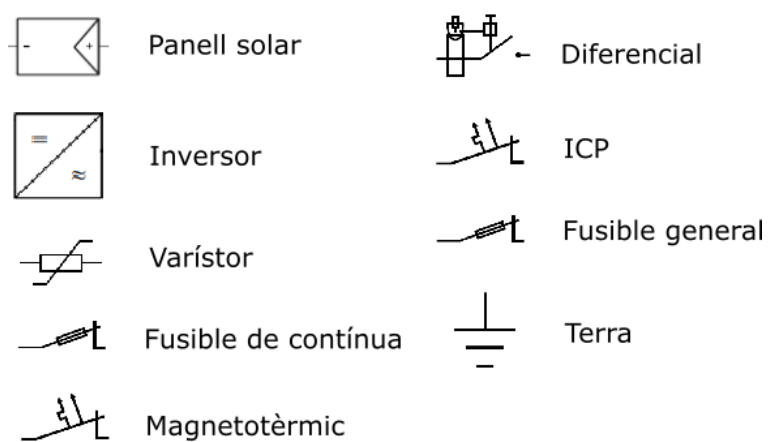


Figura 72: Llegenda dels components i proteccions de la instal·lació elèctrica.

13. Estudi de l'impacte ambiental

L'energia solar fotovoltaica és una energia renovable, ja que permet obtenir energia elèctrica a partir de la radiació solar, un recurs il·limitat i natural.

No s'utilitzen recursos d'origen fòssil com podria ser el petroli, el carbó o el gas natural. Pel que les emissions produïdes en el procés d'extracció del recurs és nul, ja que és la mateixa radiació solar la que incideix sobre la instal·lació. Reduint així considerablement la generació i emissió de contaminants.

Les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa contribueixen a la reducció de les emissions de gasos contaminants dins el conjunt d'energies elèctriques. Pel que si augmenta les instal·lacions fotovoltaïques, en conseqüència l'ús d'energies renovables, disminueixen les emissions totals en l'àmbit peninsular. No es pot fer un càlcul exacte de les emissions de la instal·lació a l'estar connectada a la xarxa, pel que es farà una aproximació, agafant dades relatives a una instal·lació d'autoconsum, per tal de tenir una idea de les magnituds entre les quals es mou la instal·lació.

Material fotovoltaic	Pol·licristal·lí	Silici amorf
$\text{g CO}_2 / \text{kWh}$	66	21

Taula 41: Emissió de CO2 per kWh segons el material del panell fotovoltaic.

Per l'alternativa triada, en funció dels kWh generats i tenint en compte els percentatges de material del qual es componen els panells de la instal·lació, obtenim una generació de 6,16 tones de CO2 en un any.

kWh generat	kWh policristal·lí	kWh a-Si	Tones de CO2 policristal·lí	Tones de CO2 a-Si	Tones de CO2 totals
104956,47	87847,75	17108,71	5,80	0,36	6,16

Taula 42: Emissions de CO2 durant un any per la instal·lació solar B-2.

Per altra banda, si calculem la quantitat de CO2 que s'evita a l'instal·lar panells solar en un any, obtenim 19,24 g CO2.

kwh generat	Emissions de CO2/kWh evitades	Tones de CO2 evitades
104956,47	0,18	19,24

Taula 43: Emissions de CO2 evitades a causa de la instal·lació fotovoltaica B-2.

Pel que cada any aproximadament estem deixant d'emetre a l'atmosfera 13 tones de CO2. Si agafem com a comparativa les emissions d'un cotxe familiar de classe mitjana, les seves emissions són de 112 gCO2/km, és a dir que, amb les tones de CO2 no emeses, un cotxe hauria recorregut 116.071 km, aproximadament la meitat dels quilòmetres que recorre al llarg de la seva vida útil.

Durant les diferents etapes de la instal·lació fotovoltaica es va contribuïnt negativament al medi ambient, emeten gasos contaminants o altres residus. Primer de tot, abans de tenir la instal·lació completa cal conformar els components i tots els elements que la formen. Pel que l'extracció dels materials que els formen generen contaminants i residus. Durant la vida útil de la instal·lació, com ja hem calculat es segueixen emetent gasos com CO2. A més a més cal tenir en compte el manteniment i els components que es van reparant i substituint. Per últim, un cop s'arriba a la fi de la instal·lació, tot i la possible reutilització d'alguns components donant-los una segona vida, es genera residus.

Per tant, tot i ser un tipus d'instal·lació dins de les energies renovables, la petjada ecològica no és zero i, durant les diferents etapes es van creant residus i emeten gasos contaminants a l'atmosfera entre d'altres. És cert que els valors seran molt inferiors a la d'energies no renovables pel que cal potenciar instal·lacions d'aquest tipus per tal de reduir l'impacte ambiental i posar fi o per el menys reduir l'avanç del canvi climàtic.

Conclusions

A l'hora de plantejar el treball, tenia clar la implementació d'un sistema de captació d'energia solar en l'edifici de la universitat. Després d'analitzar les quatre possibles opcions d'orientació, Nord, Est, Sud i Oest, vaig assumir el risc d'agafar la façana Oest, sabent que no era l'òptima. El fet de treballar sobre una façana fa que la inclinació dels panells fotovoltaics queda totalment determinat. Per tant, amb aquests dos factors fixats l'energia elèctrica generada per la instal·lació es veu totalment condicionada, augmentant-se fins a un 25% si la mateixa instal·lació estigues orientada al Sud. En conseqüència la viabilitat econòmica de les diferents alternatives es veu alterades pels valors d'energia elèctrica produïda. Fent que cap de les alternatives, en un horitzó raonable de 25 anys, surti rendible ni produeixi beneficis.

Els valors obtinguts serveixen per adonar-se que per més que un vulgui generar electricitat a qualsevol metre quadrat de la ciutat, no es garanteix que en sigui viable. Ja no només en l'àmbit logístic sinó també en l'àmbit econòmic, el qual malauradament és el principal factor a l'hora de tirar endavant un projecte, per sobre de l'impacte ambiental que pugui ocasionar.

Amb la tecnologia d'avui dia encara no s'ha aconseguit poder treure rendiment a cada ona de radiació solar, però poc a poc es va progressant i desenvolupant nous materials i dispositius.

El projecte m'ha obert les portes a un món que encara no havia profunditzat gaire i, que al llarg del grau no s'havia entrat gaire en matèria. M'ha permès veure quins són els diferents components que conformen una instal·lació fotovoltaica i, aprendre quina és la seva funció en ella. El món de les renovables és un camp molt extens i en expansió, el qual forma part de la transició energètica per combatre el canvi climàtic i poder genera electricitat de manera més sostenible. Poder conèixer més sobre aquest sector és una eina que en un futur agrairé haver realitzat aquest projecte.

Agraïments

En primer lloc agrair a l'Oriol Gomis Bellmunt, director del projecte, per acceptar la proposta de treball de fi de grau.

Agrair a la Paola Sánchez Teulé, estudiant d'arquitectura, pels coneixements transmes sobre edificació i estructures.

Mencionar al company d'estudis Roger González Corsellas, per compartir opinions i discutir sobre les possibles alternatives i la seva viabilitat.

Per últim, agrair a la Jana Jiménez Abdellaoui, pel suport incondicional al llarg del treball i, l'aportació de les diferents recomanacions, orientacions i correccions, per tal d'elaborar el que ha acabat sent el projecte definitiu.

Bibliografía

Referències bibliogràfiques

[1] BOE, Boletín Oficial del Estado. *Disposiciones Generales*. Núm.140. 2014. p. 43876 - 43978

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-612

[2] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*. Madrid, 2011.

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf

[3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Solar fotovoltaica*.

<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica>

[4] International Renewable Energy Agency (IRENA). *Supporting countries in their transition to a sustainable energy future*. 2019

<https://www.irena.org/>

[5] *Las energía renovables en el sistema eléctrico español*, elaborat per RED Eléctrica de España. Excel

[6] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. *Guía Técnica de aplicación al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión*. 2002. p.50

http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx

[7] Ministerio de fomento. *Seguridad estructural*. 2019

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>

[8] Ministerio para la transición ecológica: Secretaria de estado de energía. *La Energía en España*. 2017.

[9] Universitat politècnica de Catalunya., & Institut Català d'Energia (ICAEN). *Atlas de radiació solar a Catalunya*. Núm 12. 2000.

http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/09_fons_documental/02_estudis_monografics/arxius/monografic12.pdf

Bibliografia complementària

[1] Autosolar. *Panel Solar 180W 12V Monocristalino ERA*. (Figura 12)
https://autosolar.es/panel-solar-12-voltios/panel-solar-180w-12v-monocristalino-era?gclid=CjwKCAiA0svwBRBhEiwAHqKjFtR_g9rn3RDn7C8EsRyY7WINGSDiAxBXwuTEoDnMldP3EbF6LY9itxoCYRYQAvD_BwE

[2] Autosolar. *Panel Solar 340W 24V Policristalino ERA*. 2020. (Figura 16)
https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-340w-24v-policristalino-era?gclid=Cj0KQCjwpLfzBRCRARIsAHuj6qXEg1LEqT9J4PT6Z06Y0z1IQBQxpbmHsz3eHisaWANXhp-gr-ndofUaAiCmEALw_wcB

[3] Autosolar. *¿Qué diferencia existe entre los paneles solares térmicos y los paneles fotovoltaicos?*. 2017. (Figura 13).
<https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-diferencia-existe-entre-los-paneles-solares-termicos-y-los-paneles-fotovoltaicos>

[4] Diario Renovables. *¿Cómo funciona un panel solar híbrido? Uniendo la energía solar fotovoltaica y térmica en un solo panel*. 2017. (Figura 14)
<https://www.diariorenovables.com/2017/08/como funciona un panel solar hibrido.html>

[5] Documento Básico SE-AE. *Seguridad Estructural Acciones en la edificación: Código Técnico Seguridad - Acciones en la Estructura*. 2009.
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

[6] Domingues, L. J., Pérez, A., Placidi, M., Izquierdo, V., & Trillas, L. *Prospectiva energètica de catalunya a l'horitzó 2050 i transició energètica de catalunya*. Generalitat de Catalunya: Institut Català d'Energia. 2019. (Figura 3).

http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/08_guies_informes_estudis/informes_i_estudis/arxius/20191122_FotovoltaiicaIREC.pdf

[6] Energia solar fotovoltaiica. Generalitat de Catalunya. 04_energia_solar_fotovoltaiica (Figura 15)

[7] Energía solar. ¿Cuáles son los paneles fotovoltaiicos?: Paneles fotovoltaiicos. 2020
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaiica/elementos/panel-fotovoltaiico/tipos-de-paneles-fotovoltaiicos>

[8] Energysage. *Types of solar panels: photovoltaiics panels*. 2020
<https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/>

[9] González, V. *Vigilancia del aislamiento eléctrico en línea: Protecciones continua*. Electro Industria Soluciones tecnológicas para la Minería, Energía e Industria. 2016.
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2695&edi=136&xit=vigilancia-del-aislamiento-electrico-en-linea>

[10] Institut Obert de Catalunya. *Elements de les instal·lacions fotovoltaiiques: Principals paràmetres d'una cèl·lula solar*.
https://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/0801_IEA/IEA_0801_M06/web/html/WebContent/u1/a2/continguts.html

[11] International Renewable Energy Agency (IRENA). *Global weighted average total investment costs, capacity factor and LCOE 2010-2018*. 2018. (Figura 6)
<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-Trends>

[12] International Renewable Energy Agency (IRENA). *Renewable capacity highlights*. 2019. (Figura 1 - 2).

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf?la=en&hash=BA9D38354390B001DC0CC9BE03EEE559C280013F

[13] International Renewable Energy Agency (IRENA). *Solar PV Module Cost 2010-2018*. 2018. (Figura 7).

<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs>

[14] López, J. *Producció d'electricitat a Catalunya: Potència instal·lada 2016*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

<https://gurbuab.files.wordpress.com/2014/07/ligeets22.pdf>

[15] Ministerio de ciencia y tecnología. *Protecciones: Instalaciones de puesta a tierra*. ITC-BT 18.

[16] Ministerio de ciencia y tecnología. *Instalaciones interiores o receptoras: Prescripciones generales*. ITC-BT 19.

[17] Ministerio de ciencia y tecnología. *Instalaciones interiores o receptoras: Prescripciones generales*. ITC-BT 20.

[18] Ministerio de ciencia y tecnología. *Instalaciones interiores o receptoras: Tubos y canales protectoras*. ITC-BT 21.

[19] Ministerio de ciencia y tecnología. *Protecciones: Protecciones contra sobreintensidades*. ITC-BT 22.

[20] Ministerio de ciencia y tecnología. *Protecciones: Protecciones contra los contactos directos e indirectos*. ITC-BT 24.

[21] Ministerio de Fomento. *Seguridad estructural: Código Técnico Seguridad- Estructural*. Documento Básico SE: Seguridad estructural. 2019.

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>

[22] Ministerio para la transición ecológica: Secretaria de estado de energía. *La Energía en España*. 2017. (Figura 8-9), p. 167-169

[23] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. *Autoconsumo de energía eléctrica*.

<https://energia.gob.es/electricidad/autoconsumo-electrico/Paginas/autoconsumo.aspx>

[24] Onyx Solar. *Photovoltaic glass for buildings*.

<https://www.onyxsolar.com/>

[25] PVsites. *PVSITES Software*. 2019.

<https://www.pvsites.eu/software/>

[26] Red Eléctrica de España . *Las energías renovables en el sistema eléctrico español: Energía del sol*. 2019. (Figura 10)

[27] Regió 7. *Energies renovables: les claus de l'autoconsum fotovoltaic*. Prensa Ibérica. 2019. (Figura 5)

<https://www.regio7.cat/vida-i-estil/2019/03/28/energies-renovables-claus-lautoconsum-fotovoltaic/535319.html>

[28] Salvador. *Esquema de una instalación solar fotovoltaica*. Greendök. 2014. (Figura 4).

<https://greendok.com/esquema-de-una-instalacion-solar-fotovoltaica>

[29] Shine Solar. *El panel solar monocristalino adaptable 150W 12V con TUV certificate: Panell solar monocristal·lí*. 2020. (Figura 15)

<http://spanish.rvflexiblesolarpanels.com/sale-10369980-customizable-monocrystalline-solar-panel-150w-12v-with-tuv-certificatied.html>

[30] Sistemas Fotovoltaicos. *Inversores conectados a red: tipos*.

http://seslab.org/fotovoltaico/15_inversores_conectados_a_red_tipos.html

[31] Solar-Estimate. *What are thin film solar panels, how do they work and why aren't they used for residential solar systems? Thin-layer solar panel*. 2020. (Figura 17)

<https://www.solar-estimate.org/news/what-are-thin-film-solar-panels-how-do-they-work-and-why-arent-they-used-for-residential-solar-systems>

[32] Stamford, L. *Environmental Impacts of Photovoltaics: The Effects of Technological Improvements and Transfer of Manufacturing from Europe to China*. Wiley Online Library. 2018.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ente.201800037>

[33] Top Cable. *Cable flexible de potencia para uso industrial: Cable corriente alterna*. 2020

<https://www.topcable.com/es/cables-de-baja-tension/cables-de-potencia/powerflex-rv-k/>

[34] Top Cable. *Cables para instalaciones fotovoltaicas*. 2017.

<https://www.topcable.com/blog-electric-cable/cables-para-instalaciones-fotovoltaicas/>

[35] Top Cable. *Cable para instalaciones solares fotovoltaicas: Cable corriente continua*. 2020

<https://www.topcable.com/es/cables-de-baja-tension/cables-solares/topsolar-pv-zz-f-dual/>

[36] Tudel, M., Masip, G. *Energía solar fotovoltaica*. Generalitat de Catalunya. Institut Català d'Energia. Núm 04. p.47 (Figura 11)